

Заключение. Показано, насколько мало мы знаем даже о том, что совсем рядом. Насколько сильны и консервативны доминирующие иллюзии. Представленные материалы всего лишь первая попытка приоткрыть завесу неопределенности. Но из-за ограниченного объема статьи многое пришлось сократить. В том числе, то, что имеет отношение к созданию средств метрологического обеспечения специфических нетрадиционных, но важных процессов.

УДК 620.176

ПРОГРАММНО-АППАРАТНЫЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ УГЛЕРОДНЫХ КОНСТРУКЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

Протасеня Т.А., Крень А.П., Гнутенко Е.В.

*Государственное научное учреждение «Институт прикладной физики НАН Беларуси»
Минск, Республика Беларусь*

В настоящее время углеродные материалы (УМ) используются во многих отраслях промышленности (автомобилестроение, авиакосмическая отрасль, железнодорожный транспорт, медицина и др.), и сфера их применения постоянно расширяется. Это вызывает необходимость внедрения на предприятиях надежных систем контроля качества выпускаемой продукции, включающих в себя как организационные мероприятия, так и, в первую очередь, достоверные измерительные методы определения физико-механических характеристик этих материалов.

Существующие в настоящий момент методы контроля УМ, позволяющие дать оценку их физико-механическим характеристикам, являются либо разрушающими и предполагают изготовление специальных образцов, либо предусматривают лабораторные условия испытаний. И в том и в другом случае, проводить контроль готовых изделий на стадии их технического обслуживания невозможно. А учитывая высокую стоимость УМ, наибольший интерес представляют безобразцовые неразрушающие методы контроля их свойств. Наиболее перспективным с этой точки зрения является метод динамического индентирования. Метод заключается в высокоскоростном внедрении жесткого индентора в исследуемый материал и расчете его физико-механических характеристик по основным параметрам регистрируемой диаграммы ударного нагружения [1]. Главным преимуществом динамического индентирования является возможность получения комплексной оценки свойств материала (твердости, модуля упругости, предела прочности и др.) в одном измерительном цикле без повреждения изделия. Наряду с технической реализацией метода, особую научную задачу представляет собой методическое обеспечение процесса измерения. Ввиду широкого разнообразия УМ, начиная от однород-

Литература

1. Мельников В.Е. Незнакомый человек в незнакомом пространстве. Пора познакомиться. – М.: ИД МЕДТЕХНМКА-М, 2006, 236 с.
2. Мельников В.Е. Человек в этом мире, Известия Тульского государственного университета, Технические науки. Выпуск 9, Часть 2, 2017, стр. 223–241.
3. Мельников В.Е. Человек в этом мире, Известия Тульского государственного университета, Технические науки. Выпуск 9, Часть 2, 2017, стр. 241–255.

ных угленаполненных полимеров до пространственно-армированных композитов (рис. 1), характеризующихся широким диапазоном изменения свойств, их контроль требует разработки комплексного подхода, включающего в себя как поиск оптимальных геометрических и энергетических параметров индентирования, так и разработки определенных схем нагружения в совокупности с их программно-аппаратной реализацией.

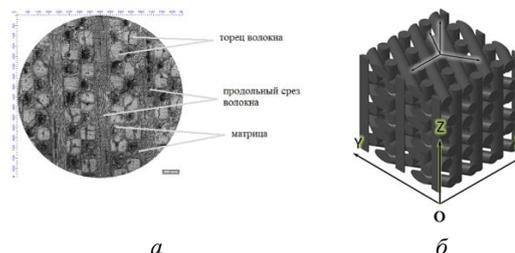


Рисунок 1 – Увеличенное изображение контролируемой области углерод-углеродного композита (а) со схемой армирования 4D (б)

Особенно это критично при контроле углерод-углеродных композитов с 3D или 4D схемами армирования, оценка свойств которых сводится к измерению физико-механических характеристик компонентов их структуры: армирующего углеродного волокна и связующей матрицы. При этом сложность контроля таких материалов заключается не только в определении оптимальной формы индентора и величины предупредительной энергии, но и обеспечении требуемой локальности контроля, определяемой размерами армирующего стержня (порядка 700 мкм в диаметре).

Решить рассмотренные ранее вопросы контроля широкого номенклатурного ряда УМ позволила уникальная разработка Института прикладной физики НАН Беларуси, не имеющая отечественных и зарубежных аналогов – программно-

аппаратный комплекс «ИСУМ-1» (рис. 2). Конструктивно устройство состоит из электронного блока со специальным программным обеспечением и датчика.

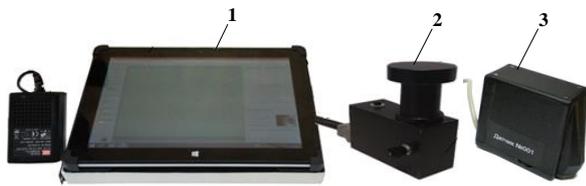


Рисунок 2 – Программно-аппаратный комплекс «ИСУМ-1»:

1 – электронный блок; 2 – датчик для контроля пространственно-армированных УМ; 3 – датчик для контроля изотропных УМ;

Прибор «ИСУМ-1» может работать в двух модификациях: как средство измерения изотропных УМ, либо в качестве измерителя свойств элементов структуры пространственно-армированных композиционных УМ. В первом случае комплектация устройства предполагает наличие датчика 2, обеспечивающего проведение измерений с одной фиксированной предударной скоростью в диапазоне 0,15 – 1 м/с, а в другом – датчика 3, который благодаря наличию оптической системы, позволяет осуществить точное позиционирование первичного измерительного преобразователя относительно локальной зоны контроля (матрицы

или армирующего волокна) и предусматривает оперативную регулировку величины предударной энергии от 20 до 50 мкДж.

Программно-аппаратный комплекс прошел сертификацию в Республике Беларусь, в результате которой подтвердил возможность измерения твердости УМ в диапазоне 20 – 550 МПа с погрешностью $\pm 8\%$ и модуля упругости в диапазоне 0,5 – 65 ГПа с погрешностью $\pm 10\%$. Для метрологической поверки прибора был аттестован набор контрольных образцов изотропных УМ и разработаны два стандарта [2, 3], устанавливающих порядок определения физико-механических характеристик методом индентирования и регламентирующих метрологический контроль средств измерений, реализующих метод контактного деформирования.

Литература

1. Рудницкий, В.А. Испытание эластомерных материалов методами индентирования/ В.А. Рудницкий, А.П. Крень; под. ред. П.П. Прохоренко. – Минск: Белорус. наука, 2007. – 227 с.
2. Контроль неразрушающий. Определение физико-механических характеристик конструкционных материалов методами индентирования: СТБ 2495-2017.– Введ. 01.09.2017. – Мн. : Госстандарт, 2017. – 40 с.
3. Системы космические. Контроль неразрушающий физико-механических свойств материалов и покрытий космической техники методом динамического индентирования. Общие требования: ГОСТ Р 56474-2015. – Введ. 01.01.2016. – М.: Стандартинформ, 2015. – 19 с.

УДК 621.382.2:53.072

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ

Шумило В.С., Сычик В.А., Уласюк Н.Н.

Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь

В связи с эффективным внедрением интегральной технологии в производство многофункциональных измерительных преобразователей (ИП), сформированных на основе полупроводниковых приборных структур, резко возрастает количество пленочных компонентов. В процессе разработки ИП тепловых излучений возрастает необходимость анализа и параметрической оптимизации переходных характеристик таких структур.

Решение данных вопросов при минимальных вычислительных затратах производим с помощью макромодулей полупроводниковых ИП (ПИП), воспроизводящих с достаточной степенью адекватности поведение схемы ИП для входных, передаточных и выходных характеристик.

При формировании электрической модели ПИП тепловых излучений используем принципы упрощения, на основании которых синтезируем формальные и блочные их макромодели.

Обобщенную схему формальной модели ПИП формируем из следующих блоков (рис. 1, а): входного, реализующего динамические входные характеристики и функцию преобразования; промежуточного, обеспечивающего заданные динамические характеристики и статическую передаточную характеристику; выходного, воспроизводящего выходную характеристику. При этом входные и выходные блоки представляют соответственно входные и выходные цепи моделируемых элементов базисов преобразователей, а промежуточный блок описывается аналитическими выражениями или эквивалентными схемами. Поскольку входные характеристики ИП имеют обычно нелинейный комплексный характер, то генератор тока с входным сопротивлением должен выражаться функцией вида $R_{вх} = f(U_{вх}, t)$.

Электрическую модель преобразователя тепловых излучений (ПТИ) (рис. 1, б) формируем в соответствии со структурной схемой (рис. 1, а).