

М. П. МАРУСИН, Т. А. ПРОТАСЕНЯ

## РАЗРАБОТКА ПЕРВИЧНОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ ПРИБОРА ДИНАМИЧЕСКОГО ИНДЕНТИРОВАНИЯ ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ МАТЕРИАЛОВ

Разработан первичный преобразователь для реализации метода динамического индентирования при неразрушающем контроле механических характеристик материалов (твердости, модуля упругости и трещиностойкости).

**Ключевые слова:** первичный преобразователь, неразрушающий контроль, динамическое индентирование, твердость, модуль упругости.

Одним из перспективных методов неразрушающего контроля (НК), позволяющих не только достоверно и оперативно определять механические характеристики материалов (твердость, модуль упругости и др.), но и использовать портативное оборудование для исследования крупногабаритных объектов, является динамическое индентирование [1]. Повышение чувствительности измерительной аппаратуры и переход к компьютерной обработке первичной измерительной информации о процессе ударного вдавливания жесткого индентора в испытываемый материал позволяют определять механические характеристики материала на основе анализа зависимости нагрузка–перемещение индентора.

Основной задачей при разработке прибора динамического индентирования является выбор конструкции первичного преобразователя текущей скорости движения индентора в процессе испытательного удара с контролируемым материалом. Конструкция должна обеспечивать строгую пропорциональность между сигналом первичного преобразователя и скоростью перемещения индентора во время соударения. Выполнение этого требования позволит согласовать результаты контроля механических характеристик материалов с заданными условиям испытаний, что, в свою очередь, обеспечит сопоставимость данных проведенных измерений.

Для регистрации процесса внедрения индентора в материал авторами применялась магнитоиндукционная установка, позволяющая бесконтактно определить скорость перемещения индентора при его соударении с испытуемым материалом. Электрическая часть установки представляет собой систему аналого-цифрового преобразования сигнала индукционного датчика, для последующей обработки информация в цифровом виде выводится в память персонального компьютера (ПК). Схема получения и преобразования первичных данных приведена на рис. 1 (1 — индукционный преобразователь; 2 — индентор; 3 — постоянный магнит; 4 — исследуемый материал; 5 — предварительный усилитель; 6 — блок синхронизации; 7 — АЦП; 8 — ПК).

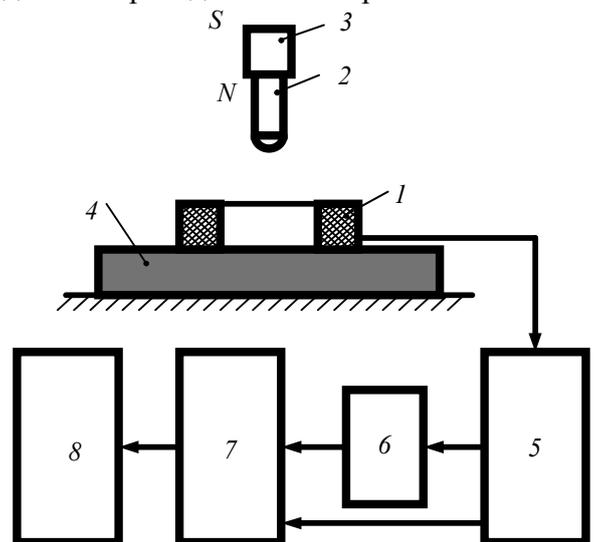


Рис. 1

Выполненная с помощью программы SolidWorks трехмерная модель разработанного авторами первичного преобразователя представлена на рис. 2. Преобразователь обеспечивает перемещение индентора относительно поверхности контролируемого материала. Помимо индентора, закрепленного на одном конце рычага, преобразователь содержит механизмы

перемещения и фиксации индентора, катушку индуктивности и предварительный усилитель аналогового сигнала.

Индентор выполнен из твердосплавного материала (карбид вольфрама), находящийся в нем магнит изготовлен из сплава на основе редкоземельных металлов —  $\text{Nd}_2\text{Fe}_{14}\text{B}$ . Высокая удельная магнитная энергия и сопротивляемость размагничиванию в сильных полях определяют преимущества сплава перед другими магнитными материалами [2]. Технология изготовления магнитов из  $\text{NdFeB}$  достаточно сложна из-за высокой окисляемости редкоземельных металлов, поэтому процесс изготовления сплава проводят в вакууме. Для получения максимальной анизотропии порошок сплава прессуют в магнитном поле, после чего образцы магнитов спекают и допрессовывают под нагревом [3].

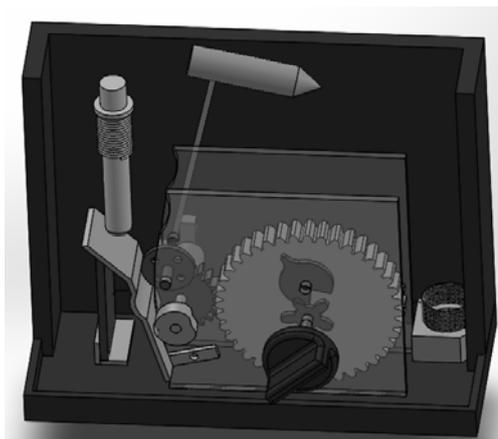


Рис. 2

В предложенном первичном преобразователе прибора динамического индентирования используется криволинейное движение индентора по дуге окружности (это дает большие преимущества в возможности автоматизации процесса заводки и нанесения удара, уменьшении габаритных размеров прибора). Расположенный на конце индентора твердосплавный шарик контактирует с материалом. При пересечении витков катушки индентором, создающим магнитное поле, в последней наводится ЭДС, пропорциональная скорости движения индентора.

Основные формулы для оценки предупредительной скорости индентора действительны как для криволинейного движения, так и для случая, когда удар наносится свободно падающим индентором. Достижение пропорциональной зависимости между сигналом первичного преобразователя и скоростью перемещения предложенного индентора позволяет повысить точность определения механических характеристик исследуемых материалов.

Апробация разработанного первичного преобразователя прибора динамического индентирования была проведена на образцах пирографита изотропного. Полученные результаты измерения механических свойств (твердости, модуля упругости и трещиностойкости) пирографита подтвердили надежность разработанного прибора и возможность его использования при НК.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Булычев С. И., Алехин В. П. Испытание материалов непрерывным вдавливанием индентора. М.: Машиностроение, 1990. 224 с.
2. Марусина М. Я., Базаров Б. А., Галайдин П. А., Силаев А. А., Марусин М. П., Закемовская Е. Ю., Гилев А. Г., Алексеев А. В. Магнитная система на основе постоянных магнитов для расходомера многофазных текучих сред // Измерительная техника. 2014. № 4. С. 62—65.
3. Marusina M. Ya., Bazarov B. A., Galaidin P. A., Marusin M. P., Silayev A. A., Zakemovskaya E. Yu., Mustafaev Yu. N. Design of a Gradient System for a Multiphase Flowmeter // Measurement Techniques. NY: Springer, 2014. Vol. 57, N 5. P. 580—586.

- Михаил Петрович Марусин** — *Сведения об авторах*  
— Университет ИТМО, кафедра измерительных технологий и компьютерной томографии, Санкт-Петербург; ассистент;  
E-mail: mishasp06@mail.ru
- Татьяна Анатольевна Протасеня** — Институт прикладной физики национальной академии наук Беларуси, лаборатория контактно-динамических методов контроля, Минск; младший научный сотрудник; E-mail: 5657397@gmail.com

Рекомендована кафедрой  
измерительных технологий  
и компьютерной томографии

Поступила в редакцию  
01.10.14 г.

УДК 535.211:535.214

Д. В. ЧЕСНОКОВ, Д. В. КОЧКАРЕВ, В. А. РАЙХЕРТ,  
М. В. КУЗНЕЦОВ, В. В. ЧЕСНОКОВ

## О ВОЗМОЖНОСТИ РЕАЛИЗАЦИИ ОДНОСТАДИЙНОГО ЛАЗЕРНОГО МЕТОДА МИКРОСТРУКТУРИРОВАНИЯ ПОВЕРХНОСТИ САПФИРА

Представлено описание процесса лазерного сублимационного формирования упорядоченного глубокого микрорельефа на поверхности пластин из лейкосапфира.

**Ключевые слова:** лазерная сублимация, рельеф на поверхности, светодиод, тугоплавкие диэлектрики, лейкосапфир.

Разработка и исследования технологий создания микро- и нанорельефов на поверхностях тугоплавких химически стойких диэлектриков (лазерное сверление алмазов, получение алмазной дифракционной оптики и др.) являются актуальными задачами. В настоящей работе приводятся предварительные результаты исследования одностадийного метода формирования (без использования фотолитографии и химических технологий) упорядоченного микрорельефа на поверхностях подложек из лейкосапфира с использованием процессов лазерной сублимации.

Объяснение эффектов лазерного повреждения поверхностей тугоплавких, особенно прозрачных для излучения, диэлектриков встречает затруднения [1]. Начальные этапы развития повреждения предположительно связаны с эффектом возникновения фотопроводимости (в случае рубина), многофотонного поглощения, поглощения на дефектах, в том числе связанных с центрами окраски и др. Последующие этапы повреждения, видимо, обусловлены термохимическими или плазмохимическими процессами в веществе, инициированными выделившимся на начальном этапе теплом [2, 3] и приводящими к дальнейшему повышению температуры.

В проведенных авторами экспериментах поверхности полированных подложек облучались сфокусированным многоканальным лазерным пучком твердотельного Nd:YAG-лазера с длиной волны 355 нм; длительность импульсов 5 нс; импульсная плотность мощности падающего излучения на подложке до  $6,7 \cdot 10^{18}$  Вт/м<sup>2</sup>; частота импульсов 50 Гц; исследования выполнялись на аппаратуре, описанной в работе [4]. В области каналов лазерного пучка интенсивность излучения мала; материал сублимируется в промежутках между каналами, оставляя выступы округлой формы; на поверхности подложек из лейкосапфира или карбида кремния может быть сформирован массив микрообразований типа „полусфера“.