

Abstract

It is shown that the prediction of the kinetics of impregnation process oriented and woven fibrous fillers epoxy binder solution is based primarily on an analysis of the structure of fibrous fillers. In this case, the capillary structure of fibrous fillers should include the most important factors that affect the speed and completeness of the impregnation process, after impregnating fluid flow in these materials is a process, which is mainly governed by laws of capillarity and viscosity. It is shown that in general the capillary structure of any fibrous material consists of material microstructure fiber from which it is made, as well as macro-fiber material, the diameter of the capillaries of the two structures is a completely different order. Are analyzed that the penetration depth of the liquid in the impregnation of capillaries in individual fibers, especially for those short periods during which there is a treatment, there can be significant. Therefore infinitely more practical importance is the penetration of impregnating fluid in the space between the fibers (interfiber space or penetration) or filaments of fibrous material. Describes an effective approach to the selection of an adequate physical model of capillary-porous bodies in the technology of construction of the oriented fiber composites. This physical model is then used for the determination of refined mathematical model of the process of impregnation of fibrous fillers epoxy bonding using conventional filtration theory of laminar flow of viscous non-Newtonian fluid which is not compressed.

Keywords: structure, model, capillary pores, fiberfill

В даній статті було запропоновано та використано новий високочутливий поляризаційно-модуляційний метод спектрометрії. Спосіб поляризаційно-модуляційної спектрометрії дозволяє з високою чутливістю вимірювати локальні механічні напруження в деталях із оптично прозорих матеріалів, а використання відбитого сонячного випромінювання дозволяє контролювати внутрішні напруження в листовому склі великих габаритів

Ключові слова: внутрішні напруження, поляризаційно-модуляційний метод, монокристалічний сапфір

В данной статье был предложен и использован новый высокочувствительный поляризационно-модуляционный метод спектрометрии. Способ поляризационно-модуляционной спектрометрии позволяет с высокой чувствительностью измерять локальные механические напряжения в деталях из оптически прозрачных материалов, а использование отраженного солнечного излучения позволяет контролировать внутренние напряжения в листовом стекле больших габаритов

Ключевые слова: внутренние напряжения, поляризационно-модуляционный метод, монокристаллический сапфир

УДК 535.15

НОВІ СПОСОБИ ПОЛЯРИЗАЦІЙНОГО КОНТРОЛЮ ВНУТРІШНІХ НАПРУЖЕНЬ В ДЕТАЛЯХ З ОПТИЧНО ПРОЗОРИХ МАТЕРІАЛІВ

В. П. Маслов

Доктор технічних наук, професор
Кафедра наукових, аналітичних та екологічних
приладів і систем
Національний технічний університет України
"Київський політехнічний інститут"
пр. Перемоги, 37, м. Київ, Україна, 03056
Контактний тел.: (044) 525-05-55
E-mail: vladmaslov@mail.ru

1. Вступ

Відомо, що в сучасних приладах широко використовується такий унікальний матеріал як сапфір. На прикладі деталей із сапфіру показано можливість вимірювання внутрішніх напружень за допомогою поляризаційних методів контролю. Висока стійкість до механічних, хімічних і температурних впливів, хороша прозорість в оптичному діапазоні від

ультрафіолетового до інфрачервоного випромінювання, яка властива матеріалу, дають можливість виготовляти сапфірові вікна та лінзи для оптичних приладів. Деталі із сапфіру використовують в термоядерних установках при діагностиці термоядерної плазми та аналізі стану поверхні розрядних плазмових камер [1], а також в космічній техніці – для виведення лазерного випромінювання в космічний простір і в системах зв'язку космічних апаратів. Високі електроізолюючі

властивості сапфіру посприяли також успішному його використанню в мікроелектроніці як матеріал-підкладка для структур «кремій на сапфірі» (КНС), а в останній час – для виготовлення на сапфірових підкладках випромінюючих світлодіодів [2].

При вирошуванні злиwkів монокристалічного сапфіру у ньому виникають дефекти у вигляді мікробульбашок, границь блоків та механічні напруження, які суттєво впливають на його властивості. Проблему контролю якості сапфірових структур вирішують багатьма способами, але вони не достатньо чутливі для потреб сучасної фізики або складні у використанні (рентгенівські методи). Традиційний контроль внутрішніх механічних напружень здійснюють візуально на полярископі-поляриметрі ПКС-250, в основу покладений метод подвійного променезаломлення Сенармона [3], проте технічні можливості цього традиційного методу не дозволяють виконувати кількісний контроль якості зразків монокристалів сапфіру з мікронапруженнями. Тому актуальною задачею сучасного приладобудування є розроблення нових методів технічної діагностики та неруйнівного контролю якості деталей із оптично прозорих матеріалів.

2. Поляризаційно-модуляційний спосіб контролю

Вроботі [4] досліджувалась можливість використання методу поляризаційно - модуляційної спектроскопії для вирішення поставленої задачі. Цей метод був у свій час детально досліджений та узагальнений в монографії [5]. Всі модуляційні методи поєднує одна і та ж сама функціональна риса, що полягає у фізичному диференціюванні відповідної функціональної характеристики того чи іншого явища. Потреба у такій процедурі продиктована необхідністю подолання труднощів, що виникають при аналізі слабо виражених особливостей досліджуваної характеристики, чи при наявності у ній постійної складової – «фона». Тому процедура диференціювання функціональних залежностей, що виконана на фізичному рівні, а не на етапі математичної обробки експериментальних результатів, є достовірним та додатковим, а деколи і новим високочутливим джерелом інформації про властивості досліджуваного об'єкта.

Однак така характеристика випромінювання як стан поляризації, має з точки зору диференціальної спектроскопії суттєву відмінність від інших способів модуляції. Вона полягає, перш за все, у тому, що поляризація, як просторова характеристика хвилі, виражається сукупністю значень – компонентами вектора Максвела-Джонса або вектора Стокса. Таким чином, на відміну від модуляцій інших фізичних величин, що оперують з єдиним параметром, поляризаційна модуляція (ПМ) характеризується двомірним впливом на хвилю. Ця, несуттєва на перший погляд, обставина значно ускладнює як техніку експерименту, так і інтерпретацію отриманих за допомогою ПМ результатів. Частково у цьому і полягає причина того, що в період всезагального розповсюдження диференційних методів, коли практично у всіх фізичних науково-дослідних лабораторіях розвивалися модуляційні методики з використанням різноманітних фізичних величин, ПМ залишалася поза увагою. На

рис. 1 показана найбільш ефективна конструкція модулятора поляризації, в якому використаний один із самих надійних способів одержання нероз'ємних безклеювих з'єднань оптичних елементів, а саме глибокий оптичний контакт (ГОК), який заснований на силах молекулярного зчеплення комплектуючих поверхонь [6].

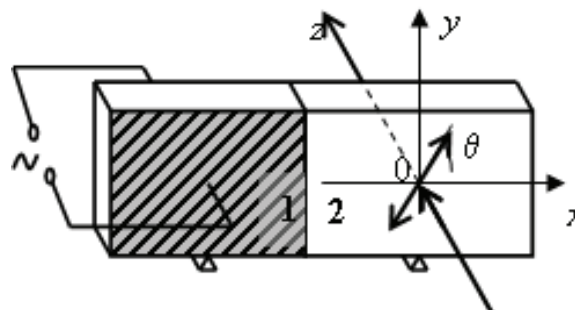


Рис. 1. Модулятор поляризації оптичного випромінювання: 1 – п'єзореzonатор (кристалічний кварц); 2 – динамічна фазова пластинка. Азимут електричного поля хвилі, що модулюється, становить 45° відносно напрямку акустичної хвилі стискування-розтягування

Проведені попередні дослідження [4] показали перспективність поляризаційно - модуляційного метода визначення розподілу мікронапружень у прецизійних вікнах із сапфіру, але в цій роботі не були визначені абсолютні значення локальних мікронапружень в досліджуваних зразках.

В результаті проведеної роботи [4] розроблено методику отримання абсолютних значень внутрішніх механічних напружень з допомогою використання поляризаційно-модуляційної спектроскопії. Чутливість методики від інтенсивності лазера і товщини зразка визначається співвідношенням:

Висока чутливість методу, яка досягає показника в 0,001 Па, дозволила пояснити причину невідповідності досліджених зразків вимогам лазерних систем, а саме: на зміну геометрії фронту лазерного випромінювання, яке пройшло через дані вікна, впливає величина і нерівномірність розподілу внутрішніх мікронапружень по площині цих вікон.

На рис. 2 наведено результати досліджень одного із зразків сапфіру. Всього для досліджень було використано п'ять сапфірових вікон (діаметр 62 мм, товщина 5 мм), які були надані фірмою «Impex Hightech GmbH» (Німеччина). На рисунку бачимо, що зразки сапфіру мають неоднорідну внутрішню структуру розподілу мікронапружень.

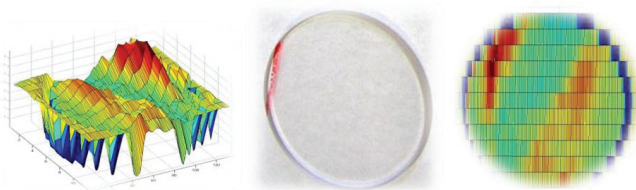


Рис. 2. Результати досліджень промислового зразка №3, які змодельовані з допомогою програмного пакету MatLab

З допомогою використання запропонованої методики визначили максимальну (стиснення) і мінімальну (розтягнення) величину абсолютного значення внутрішніх механічних напружень, які наведені в табл. 1. Проаналізувавши результати досліджень, бачимо, що нерівномірність у використаних зразках сапфірових вікон досягає 1 Па.

Таблица 1

Максимальні (стиснення) та мінімальні (розтягнення) значення внутрішніх механічних напружень в оптичних сапфірових вікнах

№	δ_{max+} (стиснення)	δ_{max-} (розтягнення)
Sample №1	855 Па	- 480 Па
Sample №2	900 Па	- 500 Па
Sample №3	500 Па	- 520 Па
Sample №4	460 Па	- 415 Па
Sample №5	900 Па	- 580 Па

Поляризаційно-модуляційний спосіб дозволяє також контролювати розподіл внутрішніх напружень, що виникають при з'єднанні прецизійних деталей (рис. 3) і оптимізувати технологію з'єднання.

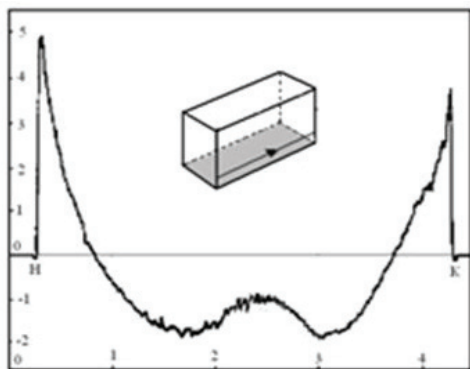


Рис. 3. Розподіл напружень у зразку склокераміки, лінія сканування паралельна площині з'єднувального шва

3. Поляризаційний спосіб контролю великогабаритних деталей

Відомий полярископ-поляриметр ПКС-250 дозволяє проводити контроль внутрішніх напружень в прозорих деталях, розмір яких не перевищує 250 мм. Для вирішення проблеми контролю великогабаритних деталей типу листів загартованого скла запропоновано використовувати спосіб контролю механічних напружень в оптичних матеріалах [5].

Задачею запропонованого способу є реалізація можливості простого, мобільного контролю великогабаритних зразків у виробничих умовах. Поставлена задача досягається тим, що у відомому оптичному способі контролю механічних напружень в оптичних матеріалах, який полягає в освітленні досліджуваного зразка поляризованим світлом з наступною обробкою інформації з використанням аналізатора, який

відрізняється тим, що як аналізатор використовуються поляризаційні окуляри, а аналіз інформації проводить безпосередньо оператор візуально. При цьому як джерело поляризованого світла може бути використане відбите сонячне світло.

При необхідності документації, візуальна інформація може бути сфотографована на цифрову камеру з поляризаційним фільтром.

На рис. 4 показана фотографія загартованого скла, сфотографоване на цифрову камеру Olympus з поляризаційним фільтром.

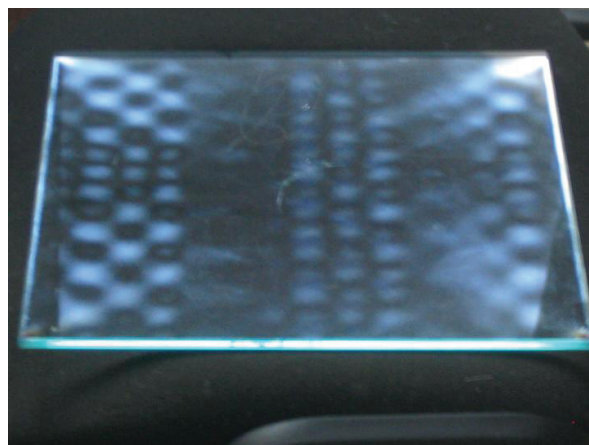


Рис. 4. Зображення загартованого листового скла 500x500x5 мм

Можна побачити напруження, що виникло в наслідок локального обдуву форсунками при загартуванні нагрітого скла.

4. Використання дисплейних екранів, як джерела поляризованого світла

Через те, що наявність та інтенсивність сонячного світла залежить від погодних умов, виникла необхідність розроблення великогабаритних енергозберігаючих джерел поляризованого світла. В результаті проведених досліджень було запропоновано [6] використання в якості джерела поляризованого світла рідкокристалічного дисплею.

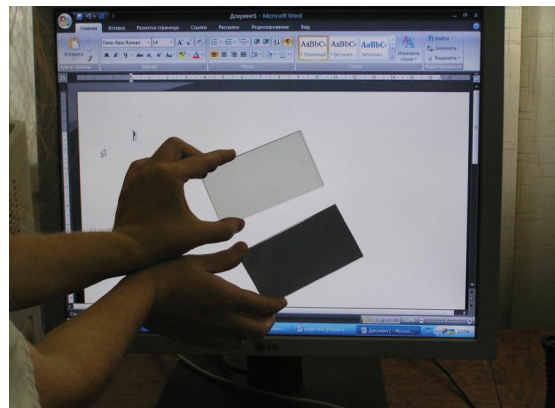


Рис. 5. Поляризація випромінювання дисплейного екрану (верхній аналізатор в положенні пропускання, нижній в положенні «вимкнення»)

На рис. 5 показано, що дисплейний екран комп'ютера має надійний поляризаційний ефект, тому, що два однакових плівкових аналізатора показують дві крайні позиції – повне пропускання світла та його «вимикання».

5. Висновки

1. Спосіб поляризаційно-модуляційної спектрометрії дозволяє з високою чутливістю

вимірювати локальні механічні напруження в деталях із оптично прозорих матеріалів.

2. Використання відбитого сонячного випромінювання дозволяє контролювати внутрішні напруження в листовому склі великих габаритів.
3. Вперше запропоновано використання рідкокристалічного дисплею в якості джерела поляризаційного світла.

Література

1. Иванов, Л.И. Состав и морфология поверхности сапфира после импульсной обработки высокотемпературной плазмой [Текст] / Л.И. Иванов И.В. Боровицкая, А.И. Дедорин, С.А. Масляев, О.Н. Крохин, В.Я. Никулин, А.А. Тихомиров, И.В. Яминский, О.В. Синицына, // Физика и химия обработки материалов. – 2008. - №1. - С.32-37.
2. Добровинська, Е.Р. Енциклопедія сапфіру [Текст] / Е. Р. Добровинська, Л.А. Литвинов, В.В. Піщік – Х. : Інститут монокристалів, 2004. - 508 с.
3. Зубаков, В.Г. Технология оптических деталей [Текст] / В.Г. Зубаков, М. Н. Семибратов, С.К. Штандель - М. : Машиностроение, 1985. – 414 с.
4. Маслов, В.П. Комплексні дослідження якості сапфірових оптичних вікон сучасними неруйнівними методами [Текст] / В.П. Маслов, Б.К. Сердега, І.С. Матяш, П.М. Литвин, С.М. Кущовий // Вісник НТУУ "КПІ". Серія приладобудування. – 2012. - №43. – С. 54-60.
5. Пат. 37067 України. Спосіб контролю механічних напружень в оптичних матеріалах [Текст] / Гаврилов В.О., Качур Н.В., Маслов В.П., Родічев Ю.М.; заявник ІФН ім. В.Є.Лашкарьова НАН України. Опубл. 10.11.2008, Бюл. № 21/2008. – 4 с. : іл.
6. Заявка на пат. № U 2012 08312 України. Спосіб контролю механічних напружень в конструкційних елементах літаків [Текст] / Венгер Є.Ф., Маслов В.П., Семенець О.І., Качур Н.В., Кущовий С.М. Від 06.07.2012.

Abstract

The article deals with the problem of the new ways of polarization control of internal stresses in the optically transparent materials details.

During the process of growing, the optically transparent materials, such as mono-crystal sapphire ingots, may obtain some defects, e.g. micro-bubbles or the grain boundaries, as well as the mechanical stresses that affect their properties significantly.

The aim of this work was to study the new ways to control the polarization of the internal stresses in the optically transparent materials details. In order to implement this task we used a new highly polarized - modulation spectrometry method. This method allows us to measure the local mechanical stresses in the optically transparent materials details with high sensitivity, and the usage of the reflected sunlight enables to control the internal stresses in the sheet glass of a large size. As such, the usage of the LCD as a source of light polarization was introduced for the first time. The point is that the intensity of sunlight depends on the weather conditions, and that factor affects the results of the research

Keywords: internal tension, polarized - modulation method, mono-crystal sapphire