

УДК 620.17

О. Мильніков, канд. фіз.-мат. наук

Тернопільський державний технічний університет імені Івана Пулюя

ЗАСТОСУВАННЯ МЕТОДУ ФОТОПРУЖНОСТІ ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ НАПРУЖЕНОГО СТАНУ В МІКРОЗОНАХ СКЛОВИРОБІВ

Резюме. Роботу присвячено визначенню залишкових напружень у мікронах контактів скло – метал та скло – ситалоцемент. Дослідження напруженого стану проводили за допомогою поляризаційно-оптичного методу дослідження напружень (ПОМДН) – фотопружності з урахуванням особливостей завдань, які полягали у низькій оптичній чутливості скла (особливо при малих товщинах), криволінійності поверхонь і малих розмірах зон, які розглядали.

Ключові слова: фотопружність, напружений стан, скло, мікрозони, триплекс.

A. Mylnikov

APPLICATION OF PHOTOELASTISITY METHOD FOR FINDING STRESSED STATE IN GLASS ITEMS MICROZONES

The summary. The paper investigates the determination of residual stress in the contact microregions of glass – metal and glass – sitalcement. Investigation of the stress state has been carried out by means of polarized – optical method for stress investigation (POMSI) – photoelasticity, applying to solution of plane problems in low optical sensitivity of glass (especially small thickness), curvilinear surfaces and small-sized regions under investigation.

Key word: photoelasticity, stress state, glass, microregions, triplex.

Актуальність роботи. У сучасній техніці, зокрема в радіоелектронних і приладобудівних галузях народного господарства, широко застосовують вироби, виконані зі скла – електровакуумні прилади (ЕВП), скловолокна світловодів та ін.

При оцінюванні міцності складних складових скловиробів виникає необхідність визначати напружено-деформований стан (НДС) у мікронах небезпечних ділянок, до яких можна віднести зони спаю або склейки різних за коефіцієнтом лінійного теплового розширення (КЛТР) скла.

Аналіз проблеми. Використання теоретичних і чисельних методів механіки твердого деформованого тіла (МТДТ) для визначення цих залишкових напружень є ускладненим, а інколи й неможливим, оскільки дуже часто не можна задати граничні умови на складних поверхнях у зоні контактів.

Практика довела доцільність застосування для подібних завдань методу фотопружності (поляризаційно-оптичний метод дослідження напружень (ПОМДН)). Однак визначення напруженого стану методом фотопружності в цьому випадку має свої особливості за рахунок: по-перше, низької оптичної чутливості скла ($C \approx 3 \cdot 10^{-12}$ Па⁻¹), що ускладнюється різними товщинами, які проходить зондуєчий промінь світла; по-друге, криволінійністю розглянутих поверхонь і, по-третє, різними розмірами досліджуваних зон та їх складною конфігурацією.

Аналіз основних досліджень і публікацій. У літературі існує багато джерел, присвячених питанню визначення залишкових напружень у склі [1–13], зокрема методами фотопружності [1,3,4,9,12,]. За матеріалами зарубіжного друку [10–13] напруження в небезпечних мікронах розглядають при оптичних збільшеннях близько 120 крат, водночас, як відомі дані з вітчизняної практики [1,3,4] свідчать про 52-кратне

збільшення. Збільшення досліджуваної зони є дуже суттєвим фактором, хоча величина оптичної різниці ходу при просвічуванні виробу залишається однією й тією ж (тому що не залежить від збільшення). Усе ж можна набагато точніше розшифрувати оптичну картину, отриману в сусідніх точках [9].

Постановка задачі. Дана робота є оптичним експериментальним способом визначення залишкових напружень у мікрозонах контактів скло – метал і скло – ситалоцемент і результатами дослідження НДС у цих об'єктах.

Методика досліджень. Для збільшення досліджуваних мікрозон застосовували поляризаційний мікроскоп ПОЛАМ-312Р, оснащений деякими додатковими вузлами. Виміри проводили в монохроматичному поляризованому світлі ($\lambda = 550$ нм) при збільшенні ~ 300 крат (більше збільшення при товщині шарів зразків 1,5-2 мм не забезпечує глибину різкості).

З метою уникнення розсіювання світла на криволінійних поверхнях скловиробів при просвічуванні використовували іммерсійну ванну. Іммерсійну рідину виготовляли на основі кедрової олії з певною процентною добавкою дистильованої води, що дозволило отримувати для дослідження різних сортів скла суміші з відповідними коефіцієнтами заломлення.

Для вимірювання оптичної різниці ходу за методом Сенармона необхідно здійснити синхронний поворот пропускних площин поляризатора та аналізатора на кут 45° . При цьому інтенсивність світла зміниться від мінімальної до максимальної. Після цього поворотом аналізатора проводили повне погашення світла в досліджуваній точці при використанні робочої довжини світла λ_1 . Позначимо цей кут ψ_1 .

Для визначення дробового та цілого порядків, що складають величину різниці ходу, яка визначається в точці, проводили вимірювання аналогічного кута ψ_2 для допоміжної довжини хвилі світла λ_2 .

Температурні напруження у виробках зі силікатного скла у переважній більшості випадків викликають оптичну різницю ходу, яка не перевищує однієї смуги – ізохром (в усякому разі наявність порядку смуги ≥ 1 можна легко прогнозувати за оптичною картиною у сусідніх точках). Тому на практиці, коли порядок різниці ходу має тільки дробове значення, це дозволяє у випадках, які розглядають, відмовитися від складних методик, що передбачають використання різних довжин хвиль зондуючого світла. І

тоді різниця ходу променів $\Delta = \lambda_1 \frac{\psi_1}{180^\circ}$.

Важливим параметром при дослідженні напруженого стану за Сенармоном є визначення знака різниці ходу δ . Для вирішення цього питання площину поляризатора мікроскопа у початковому положенні виставляють горизонтально (при цьому ізокліни з напрямком $\varphi_1 = 0^\circ$ співпадають із площиною пропускання поляризатора). Параметром другої ізокліни буде $\varphi_2 = +90^\circ$. При компенсації площина пропускання поляризатора повертається на $+45^\circ$ відносно положення, в якому визначається параметр ізокліни. Тоді ізокліна $\varphi_2 = +90^\circ$ буде складати з площиною поляризатора кут $+45^\circ$, тобто від цього напрямку повинна відраховуватись різниця фаз $\Delta\psi$.

Якщо знак різниці фаз додатній, це свідчить, що за напрямком $\varphi_2 = +90^\circ$ розповсюджується коливання з більшою швидкістю, тобто з меншим коефіцієнтом заломлення. Це означає, що за цим напрямком буде орієнтовано алгебраїчно більше квазіголовне напруження.

Для визначення знака величини різниці ходу променів Δ на практиці застосовували схему кругового полярископа. Якщо поворот аналізатора проти годинникової стрілки призводить до зміщення смуг у бік менших порядків, то напрямком алгебраїчно більшого квазіголовного напруження буде паралельним площині пропускання поляризатора.

Синхронний поворот системи поляризатор – чвертьхвильова пластинка – аналізатор, що має місце при проведенні компенсації за Сенармоном, пристроєм мікроскопа ПОЛІАМ-312Р не передбачений. Тому для проведення синхронного повороту системи поляризатор – пластинка $\frac{\lambda}{4}$ – аналізатор відносно об'єкта обертали не систему, а сам об'єкт, який розглядали (при цьому зазвичай виникала необхідність центрування об'єктива мікроскопа та поворотної пластини).

При перевірці роботи запропонована схема показала свою працездатність і надійність на тарувальних зразках оптично чутливих матеріалів.

Результати досліджень

1. У ході робіт досліджували картини оптичної різниці ходу в склі з металевими виводами. Вимірювали по кількох радіусах на 3-х зразках. Графік вимірів оптичної різниці ходу Δ по одному зі зразків зображено на рис.1. Фотографію зони контакту скло – металовивід одного зі зразків зображено на рис.2.

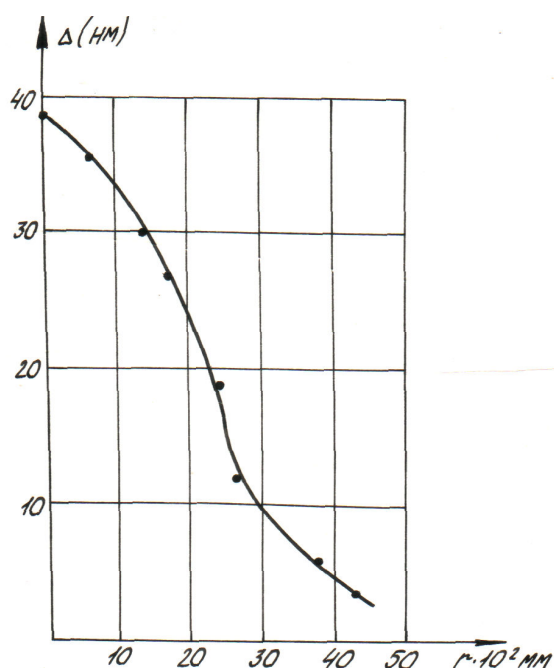
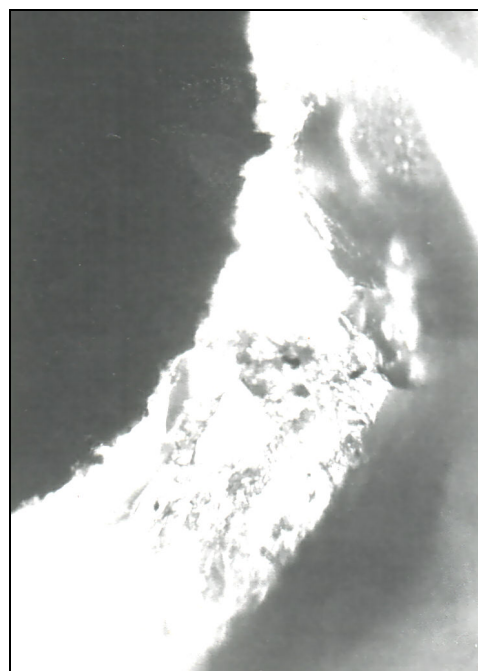


Рис. 1. Розподіл оптичної різниці ходу Δ по радіусу r



Рису. 2. Фото зони контакту скло – металовивід у поляризованому світлі

Представляючи поверхню напливу скла біля металовиводу як конусну поверхню (рис.3), за допомогою графічних побудов знаходили відстань, яку проходить промінь у склі при просвічуванні в певних точках. Залежність розподілу різниці окружних і радіальних компонентів напружень $\sigma_r - \sigma_\theta$ зображено на рис.4.

2. Дослідження оптичної картини в зоні спаю скло – ситалоцемент на 3-х зразках показало що:

- оптична різниця ходу (хоч і доволі мала - $\Delta \sim 25$ нм) у зоні спаю існує, графік розподілу величини Δ залежно від відстані до зони контакту зображено на рис.5;

- при товщині шару скла $5,6 \div 6,0$ мм оптична різниця ходу відповідає напруженню $\sim 1,5$ Мпа, графік розподілу напружень зображено на рис.6;

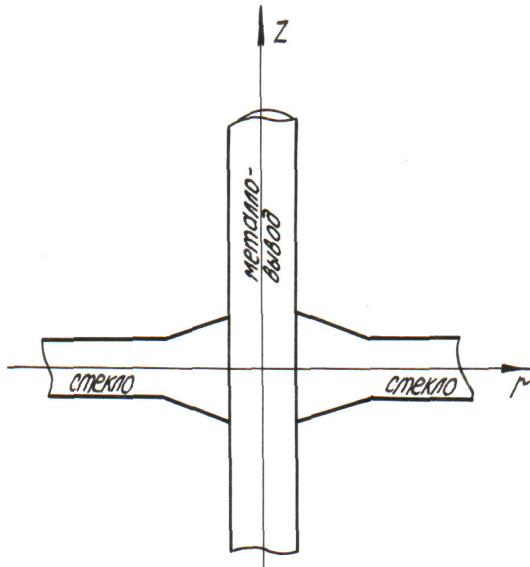


Рис. 3. Узагальнене зображення поверхонь матеріалів у зоні контакту

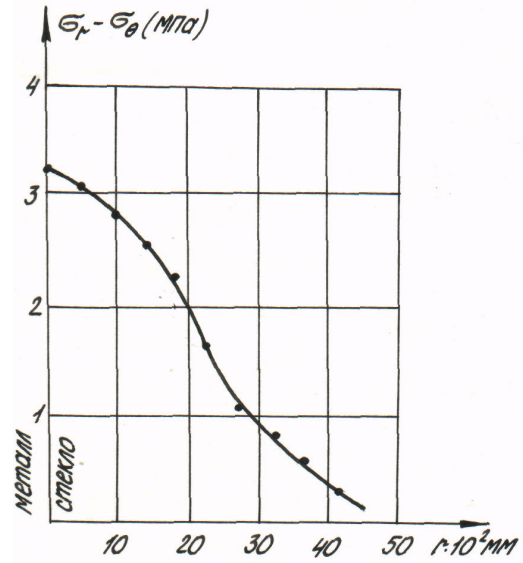


Рис. 4. Розподіл величин $\sigma_r - \sigma_\theta$ уздовж радіуса r в зоні контакту скло – металовивід

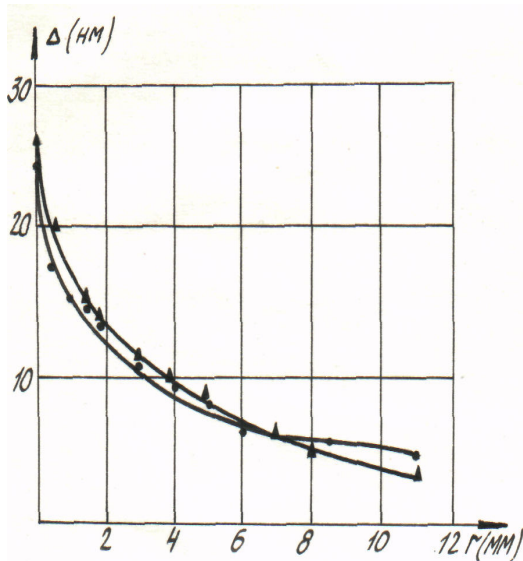


Рис. 5. Розподіл оптичної різниці ходу Δ на різних радіусах в зонах контакту скло – ситалоцемент

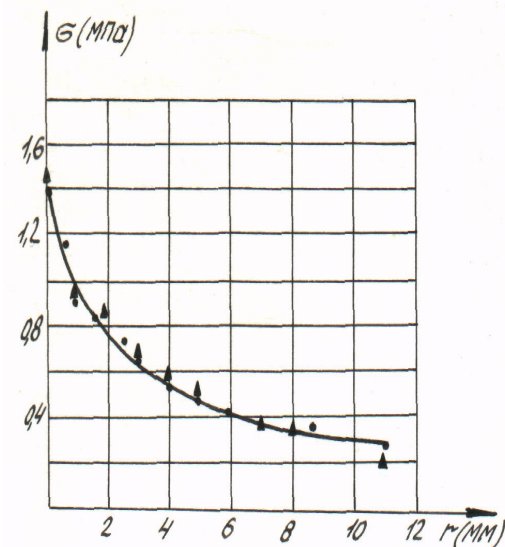


Рис. 6. Розподіл напружень у зоні контакту скло – ситалоцемент

- закономірності розподілу величини σ по довжині спаю у вивчених зразках практично не змінювалися.

Оптична картина в зоні спаю скло – ситалоцемент зображено на рис.7.

3. Розглядали також задачу про визначення напруженого стану, що утворюється у зонах склейки триплексів, виготовлених із різних сортів силікатного скла, що відрізняються за КЛТР, за рахунок змін температурних режимів. Досвід експлуатації багат шарових склоконструкцій, зокрема гетерогенних, свідчить, що при змінах температур унаслідок різниці коефіцієнтів лінійного теплового розширення (КЛТР) виникає концентрація напружень у крайніх зонах матеріалів, які склеювались. Це призводить до відокремлювання окремих шарів та руйнування конструкції в цілому.

Як і в попередніх випадках, розшифрування оптичної картини, яка виникала у триплексах, проводили методом компенсації за Сенармоном, а окремі компоненти напруженого стану зразків визначали за допомогою закону Вертгейма. На рис.8 зображено картини оптичної анізотропії, які виникали у триплексі за різних температурних режимів.

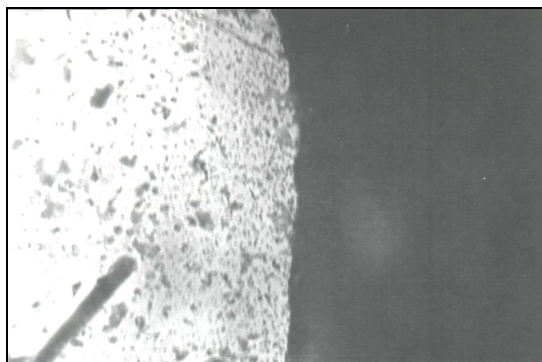


Рис. 7. Оптична картина в поляризованому світлі в зоні контакту скло – ситалоцемент

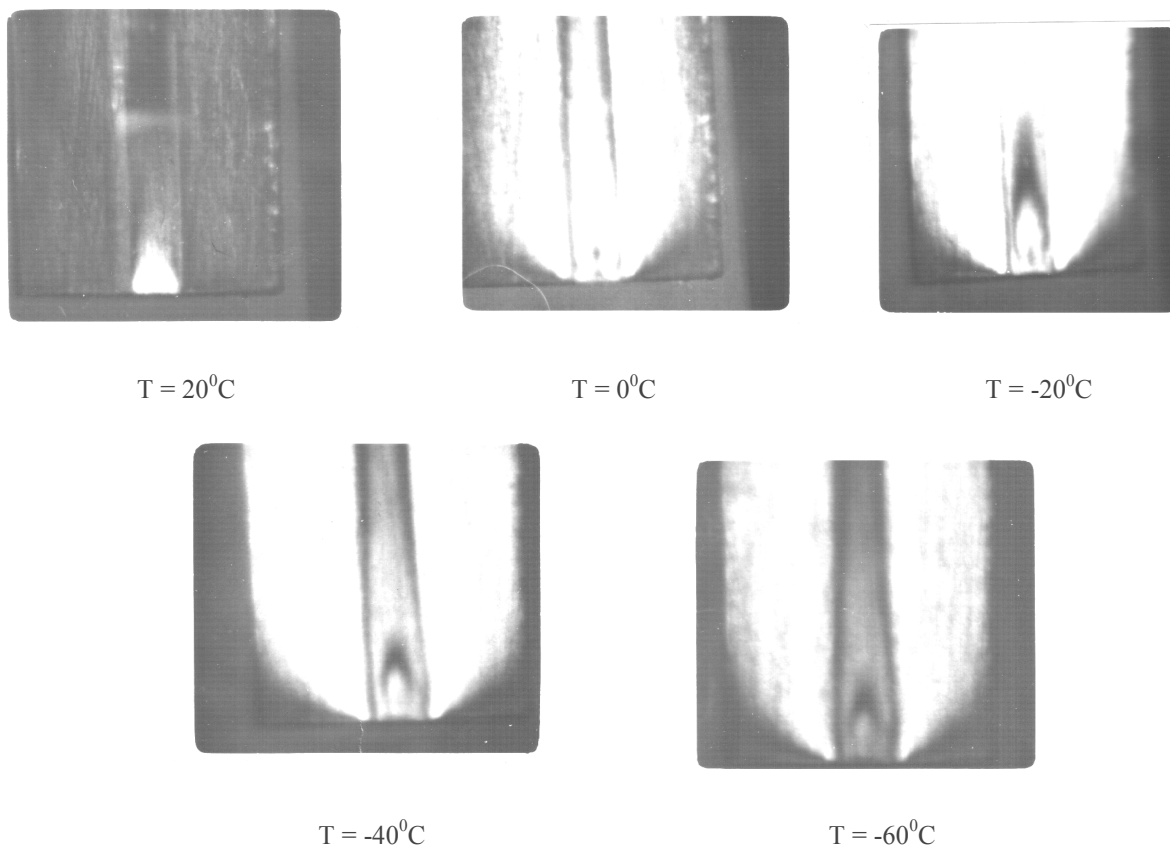


Рис. 8. Картини оптичної анізотропії у триплексі за різних температурних режимів (круговий полярископ, темне поле)

При цьому максимальні нормальні та дотичні напруження сягали значень відповідно

$$\sigma_{\max} = -3,35 \text{ МПа і } \tau_{\max} = 1,13 \text{ МПа.}$$

Висновки. Результати роботи доцільно використовувати в галузі МТДТ при оцінюванні міцності різних скловиробів, особливо при проведенні прискорених випробувань, що дозволять підвищити ймовірність безпечного й безвідмовного

берігання ЕВП й отримати зростання продуктивності праці за рахунок скорочення часу випробувань, зниження терміну окупності й підвищення якості продукції.

Література

1. Абен Х.К. Интегральная фотоупругость / Абен Х.К. – Таллин : Вальгус, 1975. – 315с.
2. Бартнев Г.М. Физика и механика полимеров / Бартнев Г.М., Зеленов Ю.В. – М.: Высшая школа, 1983. – 371с.
3. Экспериментальные методы исследования деформаций и напряжений: Справочное пособие / под ред. Касаткина Б.С. – К.: Наукова думка, 1981. – 412 с.
4. Подстригач Я.С. Остаточные напряжения, длительная прочность и надежность Стеклоконструкций / Подстригач Я.С., Осадчук В.А., Марголин А.М. – К.: Наукова думка, 1991. – 296 с.
5. Орлов И.А. Лазерная резка стеклянных трубок малого диаметра /Орлов И.А., Орлов А.С. // Прогрессивные технологии в сварочном производстве: Межвузовский сборник научных трудов. – Воронеж, 1998. – С. 46 – 55.
6. Орлов А.С. Термоупругие напряжения при термической резке цилиндрических полых стеклоизделий / Орлов А.С.//Вестник ДГТУ. – Воронеж, 2004. – Том 3. №4(18). – С. 31 – 38.
7. Бутаев А.М. Прочность стекла ионообменное упрочнение / Бутаев А.М. – Махачкала: Изд-во ДГУ, 1997. – 133с.
8. Крутман С.А. Синтез компонентов оптических стекол / Крутман С.А., Поспехов В.Г. // Оптика 2005. – Труды IV Международной конференции молодых ученых и специалистов 17 – 21 октября 2005 г. – С.-Петербург, 2005. – С. 140 – 141.
9. Мильников О. Визначення залишкових напружень у мікронах скловолокон світловодів поляризаційно-оптичним методом / Мильников О. // Вісник ТДТУ. – Тернопіль, 2008. – №2. – С.21 – 27.
10. Ghu P.L. Measurement of stresses in optical fiber and preform./ Ghu P.L., Whithbread D.R. // Applied optics, Optical Society of America. – December, 1983. – №23. – С. 4241 – 4245.
11. Poritsky H. Analysis of Thermal stresses in Sealed Cylinders and the Effect of Viscous Flow During Anneal / Poritsky H. // Physics – December, 1934. – volume V. – С. 406 – 412.
12. Shibata N. Refractiveindex profiling of preform rods by a photoelastic method: application to VAD single-mode fiber performs / Shibata N., Kawahi M., Edahiro T. / Applied optics Optical Society of America. – October, 1983. – v21. – №19. – С. 3507 – 3510.
13. Ko S.H. Mechanical properties and residual stress measurement in the Anodic Aluminium Oxide Structures Using the Nanoindentation / Ko S.H., Lee D.W., Park H.C. // Физика и химия стекла. Институт химии силикатов РАН. – С.-Петербург, 2005. – Том 31. №3. – С. 475 – 486.

Одержано 09.10.2009р.