УДК 621.338.27:53

**І. В. Яценко,** *д.т.н.*
e-mail: irina.yatsenko.79@ukr.net
**В. А. Ващенко,** *д.т.н., професор, завідувач кафедри фізики*
**В. В. Цибулін,** *викладач*
Черкаський державний технологічний університет
бул. Шевченка, 460, м. Черкаси, 18006, Україна

# ПІДВИЩЕННЯ СТІЙКОСТІ ОПТИЧНИХ ЕЛЕМЕНТІВ ОПТИКО-ЕЛЕКТРОННИХ ПРИЛАДІВ ДО ЗОВНІШНІХ ТЕРМІЧНИХ ВПЛИВІВ

*В результаті проведених експериментальних досліджень встановлено, що після попередньої обробки робочих поверхонь елементів з оптичних керамік рухомим електронним променем для діапазонів зміни його параметрів (густини теплового впливу $F_n$ = 10…1,6·10$^7$ Вт/м$^2$ та швидкості його переміщення $V = 10^{-3}…10^{-1}$ м/с) підвищується мікротвердість поверхні у 1,5…1,7 рази; у поверхневих шарах товщиною 40…60 мкм виникають стискачі термопружні напруження величиною 25…90 МПа, які призводять до утворення зміцнених шарів товщиною до 210…230 мкм. Отримано, що покращення властивостей поверхневих шарів оптичних елементів після їх електронно-променевої обробки призводить до підвищення стійкості елементів до зовнішніх термовпливів: збільшуються у 2…4 рази критичні значення зовнішніх теплових потоків та тривалості їх дії, які призводять до руйнування елементів; при цьому збільшення зовнішнього тиску від $10^5$ Па до $10^7$ Па знижує вказані критичні значення параметрів у 1,3…1,7 рази; підвищуються у 1,8…2,7 рази значення гранично допустимих термопружних напружень у оптичних елементах, оброблених електронним променем, для діапазонів зміни температур нагріву 300…1200 К.*

***Ключові слова:*** *оптико-електронне приладобудування, оптична кераміка, електронний промінь, мікроструктура, твердість, термопружні напруження.*

**Вступ.** Успіхи, які досягнуті за останню чверть століття у освоєнні електронно-променевої технології, призвели до створення різноманітних оптико-електронних приладів промислового, наукового, медичного та військового призначення [1 – 4].

Сучасні оптико-електронні прилади з елементами з оптичних керамік (КО1, КО2, КО3, КО5, КО12 тощо) (диски як підкладки світлофільтрів ІЧ-приладів, вхідні захисні вікна лазерних прицільних комплексів для спостереження у ІЧ-областях спектра, півсферичні обтічники ІЧ-приладів самонаведення та спостереження за об'єктами тощо) піддаються інтенсивним зовнішнім термовпливам (підвищені температури нагріву та зовнішні тиски, ударні термодії в умовах пострілу та польоту тощо) в умовах експлуатації (рис. 1).

У вказаних умовах відбувається суттєва зміна властивостей поверхневих шарів оптичних елементів аж до їх руйнування (поява тріщин, сколів та ін. дефектів), що призводить до суттєвого погіршення техніко-експлуатаційних характеристик приладів (надійності, строку служби тощо) та їх виходу з ладу.

Тому актуальним є попередження вказаних небажаних явищ на стадії проектування та виготовлення приладів з оптичними елементами, що розглядаються.

Багаточисельні експериментальні дослідження [3, 5 – 9] показують, що для запобігання руйнувань оптичних елементів велике практичне значення мають електронно-променеві методи фінішної обробки їх робочих поверхонь, що дозволяють значно покращувати (більше, ніж у декілька разів) властивості їх поверхневих шарів (мікротвердість, товщину зміцнених шарів тощо), які впливають на стійкість матеріалів до зовнішніх термовпливів.

Нині дослідження з попередження можливих руйнувань оптичних елементів точного приладобудування в умовах їх експлуатації з врахуванням впливу зовнішніх термодій відсутні. Крім цього, питання впливу термічної

дії електронного променя на поверхню оптичних елементів, на їх стійкість до зовнішніх термовпливів досліджено недостатньо: не встановлено оптимальні діапазони зміни параметрів електронного променя (густини теплової дії, швидкості переміщення), в межах яких спостерігається суттєве покращення властивостей поверхневих шарів елементів, підвищення їх стійкості до теплових навантажень і, в кінцевому випадку, покращення техніко-експлуатаційних характеристик приладів.

Таким чином, **метою роботи** є попередження руйнувань елементів приладів з оптичних керамік шляхом покращення властивостей поверхневих шарів елементів та підвищення їх стійкості до зовнішніх термовпливів за допомогою попередньої електронно-променевої обробки.

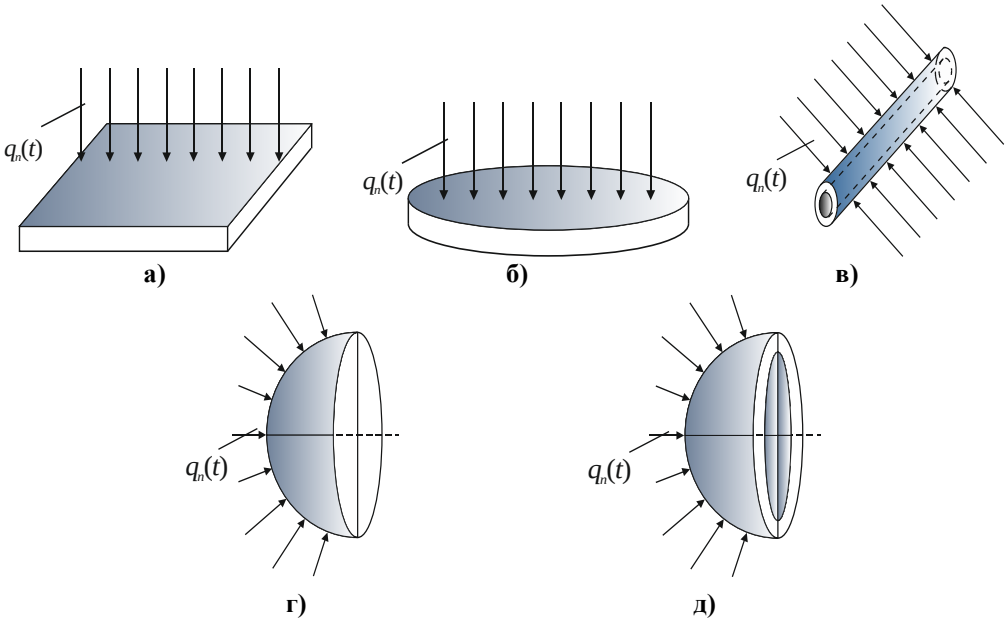


**Рис. 1. Загальний вигляд оптичних елементів, які піддаються зовнішнім термовпливам в умовах експлуатації приладів на їх основі:** а) – пластини; б) – диски; в) – світловоди; г), д) – півсферичні обтічники; $q_n(t)$ – густина зовнішньої теплової дії, Вт/м$^2$

**Методики та установки для проведення досліджень.** Для дослідження впливу параметрів електронного променя на властивості поверхневих шарів елементів з оптичної кераміки (КО1, КО2, КО3, КО5, КО12) використовувались диски діаметром $3\cdot10^{-2}…5\cdot10^{-2}$ м та товщиною $4\cdot10^{-3}…6\cdot10^{-3}$ м, півсферичні обтічники діаметром $4\cdot10^{-2}…8\cdot10^{-2}$ м [8 – 11]. Для проведення досліджень термічної дії рухомого електронного променя на елемент з оптичної кераміки було використано розроблене за участю авторів спеціалізоване електронно-променеве обладнання, яке захищене патентом України [12], що дозволяє реалізувати стрічковий електронний промінь шириною $5\cdot10^{-4}…5\cdot10^{-3}$ м, довжиною $6\cdot10^{-2}…8\cdot10^{-2}$ м, густиною теплової дії $F_n$ = $5\cdot10^6…9\cdot10^8$ Вт/м$^2$ та швидкістю переміщення $V = 5\cdot10^{-3}…10^{-1}$ м/с.

Для моделювання теплових впливів на досліджувані елементи при нормальних умовах ($T_0$ = 293 К, $P$ = $10^5$ Па) та знаходження критичних значень їх параметрів (теплового потоку $q_n^*$ та часу його дії $t^*$) використовувався керований ІЧ-нагрів кварцовими лампами типу КГТ-220-1000-1 з використанням термодатчиків РИФ-101 для контролю температур поверхонь елементів в діапазоні 300…1900 К та теплових потоків, що поступають на них.

Для моделювання впливів підвищених температур нагріву (до 1500 К) та зовнішніх тисків (до $10^7$ Па) використовувалась стандартна установка, випробування на якій проводились за методиками, розроблених на ВО “Завод Арсенал” (м. Київ) та Черкаському державному технологічному університеті в рамках спільних науково-дослідних робіт [3, 8].

Для визначення властивостей поверхневих шарів оптичних елементів до та після електронно-променевої обробки (мікротвердості поверхні ($H_v$, МПа), величин залишкових термонапружень ($\sigma$, МПа) та товщин зміцнених шарів ($\Delta$, мкм) використовувались відомі ме-

тоди фізико-хімічного аналізу (мікроідентування за методом Вікерса, методи оптичної мікроскопії та мікрозондового аналізу, які включають растрову та скануючу мікроскопію (РЕМ) та трансемісійну електронну мікроскопію (ТЕМ), дифрактометри загального призначення ДРОН-0,5, ДРОН-2,0, ДРОН-3,0 з спеціальними приставками для вимірювання мікронапружень у поверхневих шарах тощо [13 – 15]. Межа міцності оптичних елементів $\sigma^*(T)$ до та після електронно-променевої обробки знаходили методом центрально-кільцевого вигину (ЦКВ) [10, 11].

У проведених дослідженнях з визначення перерахованих вище властивостей поверхневих шарів оптичних елементів та критичних значень параметрів зовнішніх впливів відносна похибка не перевищувала 5…10 %.

**Результати досліджень та їх аналіз.** Експерименти з електронної обробки елементів з оптичних керамік показали, що вони не можуть бути оплавлені у вакуумі внаслідок високої пружності парів [8]. Так, попередній нагрів у вакуумі оптичних елементів навіть до 1300 К, призводить до розвинутого випаровування матеріалу, а при намаганні його оплавлення рідка фаза практично не утворюється. При цьому електронна обробка елементів з оптичної кераміки без попереднього нагріву призводить до підвищення їхньої мікротвердості, впорядкування структури та зміцнення за рахунок формування у поверхневих шарах стискаючих напружень і тим самим до підвищення міцності виробів до ударних теплових впливів, яким вони піддаються в умовах експлуатації.

Електронно-мікроскопічний аналіз знімків поверхонь та поперечних шліфів оптичної кераміки до та після електронної обробки показує, що відбувається помітна зміна структури по глибині матеріалу (до 250...300 мкм), яка найбільш суттєво залежить від параметрів електронного променя ($F_n$, $V$).

В результаті проведених експериментальних досліджень встановлено, що для розглядуваних діапазонів зміни параметрів електронного променя ($F_n$ = $10^6$…$1{,}6\cdot10^7$ Вт/м$^2$, $V = 10^{-3}$…$10^{-1}$ м/с) мікротвердість поверхні елементів збільшуються від 1,2…2,9 ГПа (для необроблених елементів) до 5,7…6,4 ГПа (для оброблених елементів). При цьому збільшення $F_n$ від $10^6$ Вт/м$^2$ до $1{,}6\cdot10^7$ Вт/м$^2$ призводить до збільшення мікротвердості поверхні кераміки у 1,5…1,7 рази, а збільшення $V$ від $10^{-3}$ до $10^{-1}$ м/с призводить до зменшення мікротвердості поверхні кераміки у 1,3…1,4 рази.

Результати досліджень зміни мікротвердості по глибині елементів з оптичних керамік, оброблених електронним променем, представлені на рис. 2. З цих даних випливає, що мікротвердість матеріалу усіх типів розглядуваних керамік достатньо швидко зменшується, прямуючи до свого значення для необроблюваного матеріалу. При цьому товщина зміцненого шару ($\Delta$), де виникають основні структурні зміни та підвищується мікротвердість оброблюваного матеріалу для розглядуваних параметрів електронного променя змінюється в діапазоні від 70...90 мкм до 210...230 мкм при товщинах оброблюваних виробів $4...6\cdot10^{-3}$ м. Величина $\Delta$ суттєво залежить як від природи кераміки, так й від параметрів електронного променя : збільшення $F_n$ від $10^6$ Вт/м$^2$ до $2\cdot10^7$ Вт/м$^2$ призводить до збільшення товщини зміцненого шару у 1,8...2,6 рази, а збільшення швидкості руху променя від $1{,}5\cdot10^{-3}$ м/с до $2\cdot10^{-2}$ м/с призводить до зменшення товщини зміцненого шару у 1,7...2,5 рази.

Встановлено, що вплив електронного променя на поверхню елементів з оптичної кераміки призводить до збільшення блоків мозаїки та зменшення мікродеформацій кристалічної гратки: величина блоків мозаїки від вихідного до обробленого електронним променем оптичних елементів збільшується у 3,9 рази для елементів з КО1, у 5,5 рази для елементів з КО2, у 3,3 рази для елементів з КО12, у 4,7 рази для елементів з КО3 та у 7,7 рази для елементів з КО5, а величина мікродеформацій зменшується у 3,7 рази для елементів з КО1, у 5,4 рази для елементів з КО2, у 4,2 рази для елементів з КО12, у 5,5 рази для елементів з КО3 та у 5,9 рази для елементів з КО5.

При цьому встановлено, що незалежно від технологічних режимів обробки (значень $F_n$ та $V$ для розглядуваних діапазонів їхньої зміни) елементів з оптичних керамік у всіх випадках спостерігається збільшення розмірів блоків мозаїки та зменшення мікродеформацій їхніх кристалічних граток, тобто в результаті електронної обробки отримуються більш крупнозернисті поверхневі шари з напруженнями у кристалічних гратках.

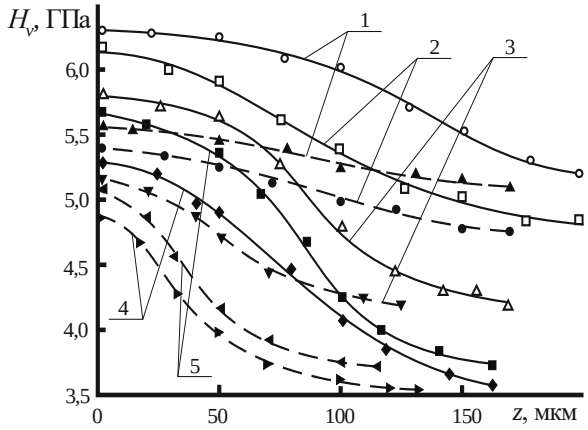


**Рис. 2. Зміна мікротвердості по глибині елементів з оптичних керамік КО12 (1), КО2 (2), КО1 (3), КО3 (4) та КО5 (5), які оброблені електронним променем, для різних значень його густини теплового впливу ($V = 7 \cdot 10^{-3}$ м/с): ——— – $F_n = 1{,}5 \cdot 10^7$ Вт/м$^2$; – – – – $F_n = 5 \cdot 10^6$ Вт/м$^2$; Δ, ○, □, ▲, ■, ♦, ▼, ●, ►,◄ – експериментальні дані**

Аналіз отриманих змін параметрів кристалічних граток елементів після електронної обробки у відповідності з відомими методами розрахунку даних рентгенограм [13 – 15], що базуються на прямій аналітичній залежності між залишковими напруженням, які діють по поверхні елемента та зміною періоду кристалічної гратки основних компонентів розглядуваних керамік, показав наявність стискаючих напружень у тонких поверхневих шарах елементів глибиною 40...60 мкм для центральної частини оброблених ділянок (розмір ділянок $4 \cdot 10^{-2}$...$5 \cdot 10^{-2}$ м) у розглядуваних діапазонах зміни параметрів електронного променя: для елементів з оптичної кераміки КО1 – до 30…40 МПа; для елементів з оптичної кераміки КО2 – до 60…70 МПа; для елементів з оптичної кераміки КО3 – до 25…30 МПа; для елементів з оптичної кераміки КО5 – до 55…65 МПа; для елементів з оптичної кераміки КО12 – до 75…90 МПа.

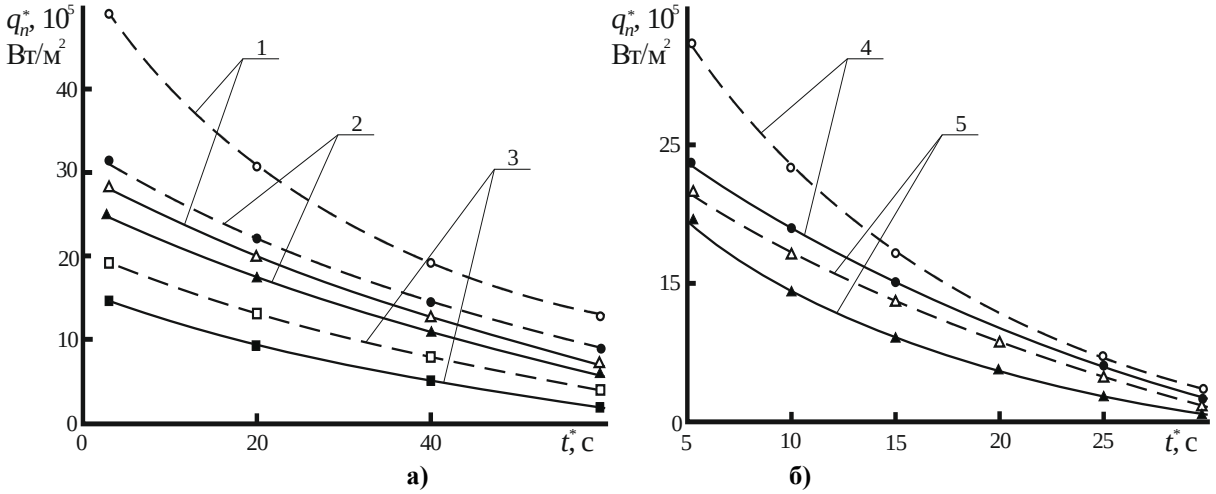


**Рис. 3. Залежності критичних значень зовнішніх теплових потоків $q_n^*$ від часу їх дії $t^*$ на оброблені та необроблені електронним променем оптичні елементи (товщина елемента $H = 4 \cdot 10^{-3}$ м, $T_0 = 300$ К, $P = 10^5$ Па): ——— – необроблені елементи; – – – – оброблені елементи ($F_n = 1{,}6 \cdot 10^7$ Вт/м$^2$, $V = 10^{-3}$ м/с); а) – елементи з оптичних керамік КО5 (1), КО1 (2) та КО12 (3); б) – елементи з оптичних керамік КО3 (4) та КО2 (5); Δ, ○, □, ▲, ■, ● – експериментальні дані**

В результаті проведених досліджень було встановлено, що після попередньої електронно-променевої обробки оптичних елементів відбувається збільшення критичних значень зовнішніх теплових потоків $q_n^*$ та часу їх дії $t^*$ у 2…4 рази (рис. 3). При цьому збільшення зовнішнього тиску до $10^7$ Па, які можуть реалізовуватися, наприклад, у фронті ударної хвилі при надзвуковому обдуві потоком повітря обтічників ІЧ-приладів в умовах пострілу та польоту [8], призводить до збільшення значень $q_n^*$ та $t^*$ тільки у 1,3…1,7 рази (рис. 4).

Крім цього, також було показано, що гранично допустимі значення термопружних напружень $\sigma^*$ при різних температурах нагріву $T$ для оптичних елементів, оброблених електронним променем, у 1,8…2, 7 рази вище, ніж для необроблених елементів (рис. 5).

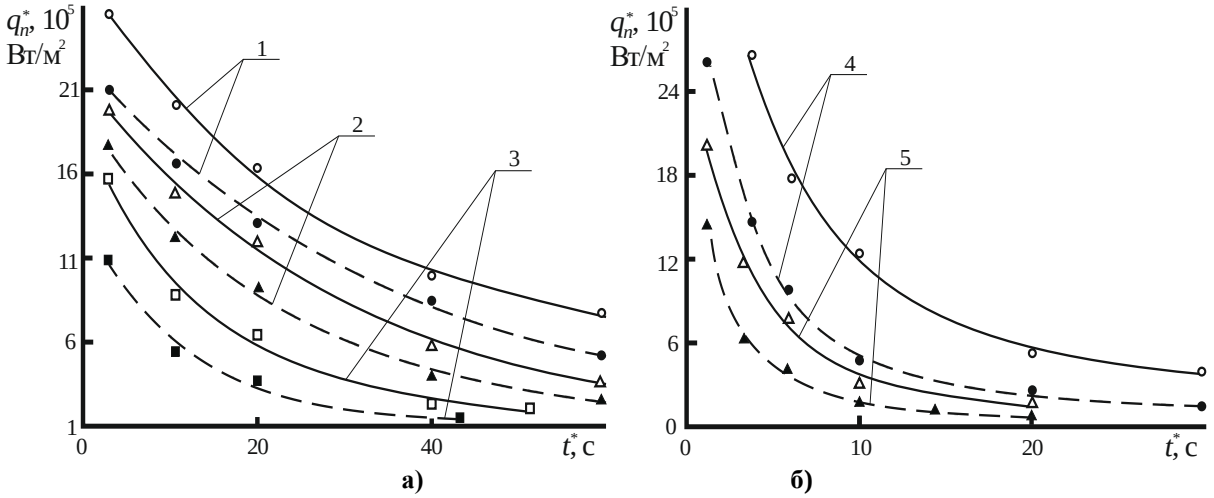


**Рис. 4. Залежності критичних значень зовнішніх теплових потоків $q_n^*$ від часу їх дії $t^*$ на оброблені електронним променем оптичні елементи (товщина елемента $H = 6 \cdot 10^{-3}$ м, $F_n = 1{,}6 \cdot 10^7$ Вт/м$^2$, $V = 10^{-3}$ м/с): ——— – $P = 10^5$ Па; – – — $P = 10^7$ Па; а) – елементи з оптичних керамік КО5 (1), КО1 (2) та КО12 (3); б) – елементи з оптичних керамік КО2 (4) та КО3 (5); Δ, ○, □, ▲, ■, ● – експериментальні дані**

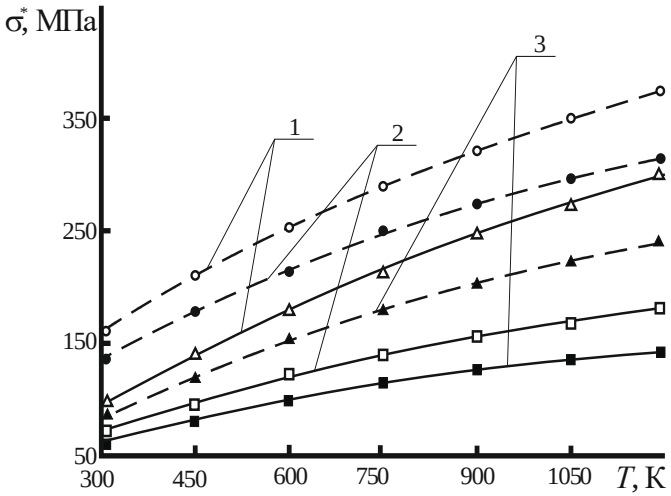


**Рис. 5. Залежність величини гранично допустимих термопружних напружень в елементах з оптичних керамік КО1 (1), КО2 (2), КО3 (3) від температури нагріву ($P = 10^5$ Па, товщина елемента $H = 4 \cdot 10^{-3}$ м, $F_n = 1{,}6 \cdot 10^7$ Вт/м$^2$, $V = 10^{-3}$ м/с): ——— – елементи не оброблені електронним променем; – – – – оброблені елементи; Δ, ○, □, ▲, ■, ● – експериментальні дані**

Використання отриманих результатів при проектуванні та виготовленні нових приладів, а також модернізації серійних оптико-електронних приладів з розглядуваними оп-

тичними елементами (світлофільтрів ІЧ-приладів, лазерних прицільних комплексів, ІЧ-приладів самонаведення та спостереження, лазерних медичних приладів на основі оптичних світловодів тощо) дозволяє підвищити їх основні техніко-експлуатаційні характеристики (надійність, ресурс та строк служби тощо) при їх експлуатації з врахуванням впливу зовнішніх термодій, наприклад, при їх зберіганні або транспортуванні в умовах виникнення високотемпературних осередків пожежі (склади зберігання, зони бойових дій тощо), а також при застосуванні виробів з ІЧ-приладами самонаведення та спостереження в умовах пострілу та польоту (ударні зовнішні теплові та механічні впливи тощо).

**Висновки**

1. В результаті проведених експериментальних досліджень встановлено, що після попередньої обробки робочих поверхонь елементів з оптичних керамік (КО1, КО2, КО3, КО5, КО12) рухомим електронним променем для діапазонів зміни його параметрів (густини теплового впливу $F_n$ = $10^6$…$1{,}6\cdot10^7$ Вт/м$^2$ та швидкості його переміщення $V$ = $10^{-3}$…$10^{-1}$ м/с) покращуються основні властивості їх поверхневих шарів:

– підвищується мікротвердість поверхні у 1,5…1,7 рази;

– у поверхневих шарах товщиною 40…60 мкм виникають стискачі термопружні напруження величиною 25…90 МПа, які призводять до утворення зміцнених шарів товщиною до 210…230 мкм.

2. Отримано, що покращення властивостей поверхневих шарів оптичних елементів після їх електронно-променевої обробки призводить до підвищення стійкості елементів до зовнішніх термовпливів:

– збільшуються у 2…4 рази критичні значення зовнішніх теплових потоків та тривалості їх дії, які призводять до руйнування елементів; при цьому збільшення зовнішнього тиску від $10^5$ Па до $10^7$ Па знижує вказані критичні значення параметрів у 1,3…1,7 рази;

– підвищуються у 1,8…2,7 рази значення гранично допустимих термопружних напружень у оптичних елементах, оброблених електронним променем, для діапазонів зміни температур нагріву 300…1200 К.

**Список літератури**


1. Ващенко В. А., Канашевич Г. В., Лукашенко В. М., Бондаренко М. А., Яценко И. В. Оптоэлектроника и микрооптика – перспективные отрасли науки и техники. *Вісник Черкаського державного технологічного університету*. 2002. №2. С. 52–62.
2. Тарасов В. В., Якушенков Ю. Г. Инфракрасные системы “смотрящего” типа. М.: Логос, 2004. 444 с.
3. Ващенко В. А., Котельников Д. И., Лега Ю. Г., Краснов Д. М., Яценко И. В., Кириченко О. В. Тепловые процессы при электронной обработке оптических материалов и эксплуатации изделий на их основе. К.: Наукова думка, 2006. 368 с.
4. Глущенко А. Р. Гордиенко В. И., Бурак А. В., Денисенко А. Ю. Танковые ночные системы и приборы наблюдения. Черкассы: Фотоприбор, 2007. 441 с.
5. Дудко Г. В., Кулов С. К., Розе Ю. А., Максимова Н. Г. Исследование электронно-лучевых процессов в создании базовых технологий ЭЛЭФП. *Электронная промышленность.* 1991. Вып. 1. С. 41–45.
6. Канашевич Г. В., Ващенко В. А., Бондаренко М. О. Перспективи використання електронного променю в технології інтегральної оптики. *Вісник Черкаського інженерно-технологічного інституту*. 2000. № 2. С. 189–193.
7. Дубровская Г. Н., Канашевич Г. В., Ващенко В. А., Котельников Д. И., Яценко И. В. Получение функциональных слоев в оптическом стекле и керамике методом электронной обработки. *Международный научно-практический симпозиум “Функциональные покрытия на стеклах”: Сборник докладов.* Харьков: НТЦ ХФТИ “Константа”, 2003. С. 135–137.
8. Ващенко В. А. Яценко І. В., Лега Ю. Г., Кириченко О. В. Основи електронної обробки виробів з оптичних матеріалів: монографія. К.: Наукова думка, 2011. 562 с.
9. Yatsenko I., Antoniuk V., Bondarenko M., Vashchenko V. Influence of parameters by electronic ray on properties of superficial layers of optical elements of exact instrument-making. *International journal for science and innovations for the industry “Inno-*

*vations in discrete productions", YEAR III, ISSUE 1/2015*. Sofia. P. 13–15.
10. Панов В. А., Кругер М. Я., Кулагин В. В. и др. Справочник конструктора оптико-механических приборов. Л.: Машиностроение, 1980. 742 с.
11. Окатов М. А. Антонов Э. А., Байгожин А. Б. Справочник оптика-технолога. СПб.: Политехника, 2004. 679 с.
12. Патент України на корисну модель № 4177C03B29/00, H01J37/305. Пристрій для електронно-променевого полірування виробів / Г. В. Канашевич, Ю. І. Коваленко, М. О. Бондаренко, В. А. Ващенко, В. П. Бойко, М. П. Рудь, І. В. Яценко. Бюл. № 1/2005.
13. Шиммель Г. Методы электронной микроскопии. М.: Мир, 1972. 300 с.
14. Горелик С. С., Скачков Ю. А., Расторгуев Л. Н. Рентгенографический и электронно-оптический аналіз. М.: МИСиС, 1994. 328 с.
15. Дубровська Г. М., Канашевич Г. В., Божко Н. І. Прилади застосування фізичних методів дослідження структури поверхні. Сільхет: Шобуж Біпоні, Удоун Офсет Принтерс, 2007. 248 с.

**References**

1. Vaschenko, V. A., Kanashevich, G. V., Lukashenko, V. M., Bondarenko, M. A. and Yatsenko, I. V. (2002) Optoelectronics and microoptics are promising branches of science and technology. *Visnyk Cherkaskogo derzhavnogo tehnologichnogo universitetu*, No. 2, pp. 52–62 [in Russian].
2. Tarasov, V. V. and Yakushenkov, Y. G. (2004) Infrared systems "looking" type. Moscow: Logos,. 444 p. [in Russian].
3. Vaschenko, V. A., Kotelnikov, D. I., Lega, Y. G., Krasnov, D. M., Yatsenko, I. V. and Kiritchenko, O. V. (2006) Thermal processes in the electronic processing of optical materials and the operation of products based on them. Kyiv: Naukova dumka, 368 p. [in Russian].
4. Gluschenko, A. R., Gordienko, V. I., Burak, A. V. and Denisenko, A. Y. (2007) Tank night systems and surveillance devices. Cherkassy: Fotopribor, 441 p. [in Russian].
5. Dudko, G. V., Kulov, S. K., Roze, Y. A. and Maksimova, N. G. (1991) Investigation of electron-beam processes in the creation of basic technologies ELEFP. Elektronnaya promyshlennost, Issue. 1, pp. 41–45. [in Russian].
6. Kanashevich, G. V., Vaschenko, V. A. and Bondarenko, M. O. (2000) Prospects of the use of electronic beam in technology of integral optics. *Visnyk Cherkaskogo inge-nerno- tehnologichnogo instytutu*. No. 2, pp. 189–193. [in Ukrainian].
7. Dubrovskaya, G. N., Kanashevich, G. V., Vaschenko, V. A., Kotelnikov, D. I. and Yatsenko, I. V. (2003) *Obtaining functional layers in optical glass and ceramics using the electronic processing method. International scientific-practical symposium "Functional coatings on glasses"*. Reports. Kharkov: Nauchno-technicheskii centr Kharkovskogo fiziko-technicheskogo instituta "Konstanta", pp. 135–137. [in Russian].
8. Vaschenko, V. A., Yatsenko, I. V., Lega, Y. G and Kiritchenko, O. V. (2011) Fundamentals of Electronic Processing of Optical Materials. Kyiv: Naukova dumka, 562 p. [in Ukrainian].
9. Yatsenko, I., Antoniuk, V., Bondarenko, M. and Vashchenko, V. (2015) Influence of parameters by electronic ray on properties of superficial layers of optical elements of exact instrument-making. *International journal for science and innovations for the industry "Innovations in discrete productions"*, Year III, Issue 1, pp. 13–15.
10. Panov, V. A., Kruger, M. Y., Kulagin, V. V. and others. (1980) Handbook of the designer of optical-mechanical devices. Leningrad: Mashinostroenie, 742 p. [in Russian].
11. Okatov, M. A., Antonov, E. A. and Baigozhin, A. B. (2004) Reference book of the optician-technologist. Sankt-Petersburg: Politechnika, 679 p. [in Russian].
12. Kanashevich, G. V., Kovalenko, Y. I., Bondarenko, M. O., Vaschenko, V. A., Boiko, V. P., Rud, M. P. and Yatsenko, I. V. (2005) Patent of Ukraine № 4177C03B29/00, H01J37/305. Device for electron beam polishing of products. Bul. No. 1 [in Ukrainian].
13. Shimmel, G. (1972) Electron microscopy methods. Moscow: Mir, 300 p. [in Russian].
14. Gorelik, S. S., Skachkov, Y. A. and Rastorguev, L. N. (1994) X-ray and electron-optical analysis. Moscow: Moskovskii institut stali i splavov, 328 p. [in Russian].

15. Dobrovska, G. M., Kanashevich, G. V. and Bozhko, N. I. (2007) Devices for the application of physical methods for studying the structure of the surface. Silkhet: Shobuzh Biponi, Udoun Offset Printers, 248 p. [in Ukrainian].

**I. V. Yatsenko,** *Dr.Tech.Sc.*
**V. A. Vaschenko,** *Dr.Tech.Sc., professor, Head of the Department of Physics*
**V. V. Tsybulin,** *lecturer*
Cherkasy State Technological University
Shevchenko blvd, 460, Cherkasy, 18006, Ukraine

## ENHANCING THE STABILITY OF OPTICAL ELEMENTS OF OPTICAL-ELECTRONIC DEVICES TO EXTERNAL THERMAL EFFECTS

*The purpose of the work is to prevent the destruction of elements from optical ceramics of devices by improving the properties of the surface layers of the elements and increasing their resistance to external thermo-influences by means of preliminary electron beam processing.*

*As a result of conducted experimental researches it was established that after preliminary processing of working surfaces of elements from optical ceramics by a moving electronic beam for ranges of changes of its parameters (density of thermal influence* $F_n = 10^6 \ldots 1{,}6 \cdot 10^7$ *W/m*$^2$ *and the speed of its movement* $V = 10^{-3} \ldots 10^{-1}$ *m/s) the microhardness of the surface rises in 1,5 ... 1,7 times; in the surface layers of 40 ... 60 μm thickness, compressive thermosetting voltages are formed in magnitude 25…90 MPa, which lead to the formation of reinforced layers in the thickness up to 210 ... 230 microns. It was obtained that the improvement of the properties of the surface layers of optical elements after their electron beam processing leads to an increase in the stability of the elements to external thermo-influences: the critical values of the external heat fluxes and the time of their actions, which lead to the destruction of the elements, are increased in 2 ... 4 times; while increasing the external pressure from* $10^5$ *Pa to* $10^7$ *Pa reduces the indicated critical values of parameters in 1,3 ... 1,7 times; the value of the maximum allowable thermo-elastic tensions in optical elements processed by an electron beam is increased in 1,8 ... 2,7 times, for the ranges of temperature changes of heating 300 ... 1200 K.*

***Keywords:*** *optoelectronic instrumentation, optical ceramics, electron beam, microstructure, hardness, thermo-elastic tensions.*

*Стаття надійшла 29.05.2018.*

*Статтю представляють: В. А. Ващенко, д.т.н., професор;*
*І. В. Яценко, д.т.н., доцент.*