

Ю. Д. Філатов¹
В. І. Сідорко¹
С. В. Ковальов¹
В. А. Ковальов²
О. Я. Юрчишин²

ПОЛІРУВАННЯ ПОВЕРХОНЬ ДЕТАЛЕЙ ОПТОТЕХНІКИ З АЛЮМІНІЮ

¹ Інститут надтвердих матеріалів ім. В.М. Бакуля НАН України;

² КПІ ім. Ігоря Сікорського

Анотація

Запропоновано метод полірування деталей оптотехніки з алюмінію за допомогою дисперсної системи з мікро- та нанопорошків метаборату міді, який дозволяє підвищити швидкість зняття оброблюваного матеріалу і забезпечити необхідну шорсткість полірованих поверхонь.

Ключові слова: полірування, алюміній, метаборат міді, швидкість зняття матеріалу, шорсткість.

Вступ

Полірування деталей оптотехніки з алюмінію, які широко використовуються в якості астрономічних інструментів для космічних і земних обсерваторій, високоефективних дзеркальних приладів видимого та ультрафіолетового діапазонів спектру, дзеркал для інфрачервоного діапазону, що працюють в криогенних умовах, здійснюється за допомогою методів алмазного мікроточіння в поєднанні з хіміко-механічним поліруванням дисперсними системами з мікро- і нанопорошків алмаза, оксиду алюмінію, двооксиду церію і метаборату міді. Підвищення якості дзеркальних поверхонь деталей оптотехніки з алюмінію можливе за удосконалення технології їх полірування та розробки полірувальних дисперсійних систем, які б забезпечували досягнення необхідної шорсткості оброблених поверхонь і швидкості зняття оброблюваного матеріалу [1, 2].

Метою роботи є вивчення закономірностей впливу фізико-хімічних властивостей оброблюваного матеріалу та дисперсної системи на показники полірування.

Результати дослідження

У відповідності до сучасних уявлень про механізм взаємодії оброблюваної поверхні з частинками дисперсної фази полірувальної дисперсної системи, видалення оброблюваного матеріалу під час полірування напівпровідників і металів відбувається внаслідок перенесення енергії від частинок полірувального порошку до оброблюваної поверхні за механізмом QD-FRET – ферстерівського резонансного перенесення енергії, опосередкованого квантовими точками, які утворюються на їхніх поверхнях, у відкритому мікрорезонаторі, який утворено поверхнями оброблюваного матеріалу і частинки полірувального порошку [3].

Ефективність QD-FRET, опосередкованого квантовими точками Al_2O_3 -QDs, залежить від добротності мікрорезонатора, а швидкість зняття оброблюваного матеріалу визначається у відповідності до загального рівняння [4, 5]

$$Q = \eta L_t \frac{\tau}{t_c} q \quad (1)$$

де η – коефіцієнт об'ємного зносу; L_t – довжина шляху тертя частинки полірувального порошку по оброблюваній поверхні; t_c – час контакту частинки полірувального порошку з оброблюваною поверхнею, τ – час життя квантових точок оброблюваної поверхні у збудженому стані; q – добротність резонатора.

Результати розрахунку і експериментального визначення швидкості зняття оброблюваного ма-

теріалу та параметрів шорсткості оброблених поверхонь наведено в таблиці.

Таблиця. Показники полірування поверхонь деталей оптотехніки з алюмінію

Показники полірування	Дисперсна система	
	CuB ₂ O ₄	CeO ₂
Швидкість зняття матеріалу, Q, 10 ⁻¹³ м ³ /с	43,3	0,2
Експеримент: мг/хв., мкм/год., Q, 10 ⁻¹³ м ³ /с	11,1 1,1 42,6	Маса знятого матеріалу – в межах похибки вимірювань
Параметри шорсткості		
Ra, нм	9,8±0,3	5,2±0,2
Rq, нм	10,2±0,4	5,5±0,3
Rmax, нм	16,4±1,4	9,9±1,0
Rz, мкм	0,049	0,026

З таблиці випливає, що під час полірування деталей оптотехніки з алюмінію за допомогою дисперсної системи з полірувального порошку двооксиду церію (CeO₂), незважаючи на мінімальні значення параметрів шорсткості, продуктивність полірування алюмінію неприпустимо мала, оскільки маса знятого матеріалу знаходиться в межах похибки вимірювань. Під час полірування алюмінію за допомогою дисперсної системи з мікро- та нанопорошків метаборату міді (CuB₂O₄) забезпечується виконання вимог, які висуваються до оптичних поверхонь ($R_z = 0,049 \text{ мкм} < 0,05 \text{ мкм}$) за високої продуктивності полірування (більше 1 мкм/год).

Запропоновано метод полірування алюмінію за допомогою дисперсної системи, в якій як дисперсна фаза використовуються мікро- та нанопорошки метаборату міді, а в якості дисперсного середовища використовується гас.

Висновки

Встановлено, що запропонований метод полірування поверхонь деталей оптотехніки з алюмінію за допомогою дисперсної системи з мікро- та нанопорошків метаборату міді дозволяє підвищити швидкість зняття оброблюваного матеріалу і забезпечити високу якість полірованих поверхонь, яка задовольняє вимогам, що висуваються до оптичних поверхонь.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Філатов Ю.Д., Сідорко В.І., Філатов О.Ю., Ковальов С.В. Фізичні засади формоутворення прецизійних поверхонь під час механічної обробки неметалевих матеріалів. К.: Наук. думка, 2017. 248 с.
2. Ulitschka M., Bauer J., Frost F., Arnold T. Improvement of the optical properties after surface error correction of aluminium mirror surfaces. J. Europ. Opt. Soc.-Rapid Public. 2021. Vol. 17:1. P. 1–13.
3. Filatov Yu.D., Boyarintsev A.Yu., Kolesnikov O.V., Galkin S.M., Novgorodtsev V.O., Polupan Ya.I., Pylypenko O.I., Sidorko V.I., Kovalev S.V. Polishing of Optotechnical Parts Made of Semiconductor Materials. J. Superhard Mater. 2025. Vol. 47, no 2. P. 125–136.
4. Filatov Yu.D. Quantum Mechanism of Optical Glass Polishing. J. Superhard Mater. 2024. Vol. 46, no. 4. P. 303–313.
5. Filatov Yu.D., Sidorko V.I., Sokhan' S.V., Kovalev S.V., Boyarintsev A.Y., Kovalev V.A., Yurchyshyn O.Y. Roughness of Polished Surfaces of Optoelectronic Components Made of Polymeric Optical Materials. J. Superhard Mater. 2023. Vol. 45, no. 1. P. 54–64.

Філатов Юрій Данилович — доктор техн. наук, професор, провідний науковий співробітник, Інститут надтвердих матеріалів ім. В.М. Бакуля НАН України, Київ, e-mail: filatov2045@gmail.com.

Сідорко Володимир Ігорович — доктор техн. наук, доцент, старший науковий співробітник, Інститут надтвердих матеріалів ім. В.М. Бакуля НАН України, Київ.

Ковальов Сергій Вікторович — канд. техн. наук, науковий співробітник, Інститут надтвердих матеріалів ім. В.М. Бакуля НАН України, Київ.

Ковальов Віктор Андрійович — канд. техн. наук, доцент кафедри конструювання машин, КПІ ім. Ігоря Сікорського, Київ.

Юрчишин Оксана Ярославна — канд. техн. наук, доцент кафедри конструювання машин, КПІ ім. Ігоря Сікорського, Київ, e-mail: urchyshynoks@ukr.net

Polishing of surfaces of optical parts with aluminum

Abstract

A method for polishing aluminum optical components using a dispersed system of copper metaborate micro- and nanopowders has been proposed, which allows increasing the removal rate of the processed material and ensuring the required roughness of the polished surfaces.

Keywords: polishing, aluminum, copper metaborate, material removal rate, roughness.

Filatov Yuriy D. — Doctor of Technical Sciences, Professor, Leading Researcher, V.M. Bakuly Institute of Superhard Materials, NAS of Ukraine, Kyiv, e-mail: filatov2045@gmail.com.

Sidorko Volodymyr I. — Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Senior Researcher, V.M. Bakuly Institute of Superhard Materials, NAS of Ukraine, Kyiv.

Kovalev Sergiy V. — Cand. Sc. (Eng), Researcher, V.M. Bakuly Institute of Superhard Materials, NAS of Ukraine, Kyiv.

Kovalev Viktor A. — Cand. Sc. (Eng), Associate Professor, Department of Machine Design, Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute, Kyiv.

Yurchyshyn Oksana Y. — Cand. Sc. (Eng), Associate Professor, Department of Machine Design, Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute, Kyiv, e-mail: urchyshynoks@ukr.net.