

УДК 621.371

**Філатов Ю.Д.,** докт. техн. наук, професор

**Сідорко В.І.,** докт. техн. наук, доцент

**Ковальов С.В.,** канд. техн. наук

Інститут надтвердих матеріалів ім. В.М. Бакуля НАН України, м. Київ, [filatov2045@gmail.com](mailto:filatov2045@gmail.com)

**Ковальов В.А.,** канд. техн. наук, доцент

**Юрчишин О.Я.,** канд. техн. наук, доцент

Національний технічний університет України «КПІ ім. Ігоря Сікорського»,

[urchyshynoks@ukr.net](mailto:urchyshynoks@ukr.net)

## ПОЛІРУВАННЯ ПОЛІМЕРНИХ ОПТИЧНИХ МАТЕРІАЛІВ

Підвищення якості деталей з полімерних оптичних матеріалів можливе лише за удосконалення технології їх полірування та розробки нових полірувальних дисперсійних систем, які б забезпечували високу якість обробки та відсутність дефектів на оброблених поверхнях за достатньої продуктивності зняття оброблюваного матеріалу [1]. Метою даного дослідження є вивчення закономірностей впливу фізико-хімічних властивостей оброблюваного матеріалу та дисперсної системи на показники полірування полімерних оптичних матеріалів.

Дослідження закономірностей полірування плоских поверхонь деталей з оптичних полімерних матеріалів діаметром 60 мм на верстаті мод. 2ШП-200М за допомогою притиру з пінополіуретану діаметром 100 мм при зусиллі притискання деталі до притиру 50 Н, частоті обертання притиру 90 об/хв., зміщенні 30 мм та довжині штриха 80 мм, середній температурі в зоні контакту оброблюваної деталі та притиру 298 К. Полірування полістиролу ПС (густина  $\rho_1=1,06$  г/см<sup>3</sup>, діелектрична проникність  $\varepsilon_1=2,5$ , коефіцієнт теплопровідності  $\lambda_1=0,15$  Вт/(м·К)) і поліметилметакрилату ПММА ( $\rho_1=1,18$  г/см<sup>3</sup>,  $\varepsilon_1=3,9$ ,  $\lambda_1=0,19$  Вт/(м·К)) здійснювалось за допомогою дисперсної системи з мікро- та нанопорошків (ДС1) ( $\rho_2=3,86$  г/см<sup>3</sup>,  $\varepsilon_2=6,1$ ,  $\lambda_2=1,0$  Вт/(м·К)) та водяної суспензії двооксиду церію (ДС2) ( $\rho_2=6,62$  г/см<sup>3</sup>,  $\varepsilon_2=21,2$ ,  $\lambda_2=3,0$  Вт/(м·К)), яка традиційно застосовується для полірування оптичних матеріалів. Частоти власних коливань молекулярних фрагментів частинок полірувального порошку дисперсної системи ДС1, визначені за спектрами ІЧ-поглинання (Фур'є-спектрометр Nicolet 6700), складала (см<sup>-1</sup>): 597, 733, 777, 850, 870, 943, 984, 1085, а дисперсної системи ДС2 – 465, 521, 848. Досліджувані полімерні оптичні матеріали характеризувались частотами власних коливань (см<sup>-1</sup>): ПС – 537, 696, 753, 905, 1027 і ПММА – 481, 750, 840, 960, 1065. Середні розміри частинок полірувального порошку визначались за зображеннями, отриманими за допомогою растрового електронного мікроскопу Zeiss-EVO50 з системою мікроаналізу AZtec, і складала 409 нм – для ДС1 і 910 нм – для ДС2. Зняття оброблюваного матеріалу визначалось ваговим методом за допомогою аналітичних терезів в мг/30 хв. Параметри шорсткості полірованих поверхонь визначали методом комп'ютерного моделювання та контролювали за допомогою безконтактного інтерференційного 3D профілографа Micron-alpha.

У відповідності до сучасних уявлень про механізм взаємодії оброблюваної поверхні з частинками дисперсної фази полірувальної дисперсної системи, видалення оброблюваного матеріалу відбувається внаслідок міжмолекулярної взаємодії між ними і визначається силами Ван-дер-Ваальса, які є наслідком виникнення локальних дипольних моментів на характерних частотах [1]. Перенос енергії між частинками дисперсної фази та оброблюваною поверхнею відбувається як ферстерівське резонансне перенесення енергії (FRET), коли на відміну від “ефекту карнавалу”, який полягає в реверсуванні переносу енергії [2–3], молекулярні фрагменти частинок дисперсної фази та оброблюваної поверхні є і донорами, і акцепторами одночасно [4–6]. Ефективність FRET, яке відбувається у відкритому мікрорезонаторі, що утворюється двома паралельними поверхнями оброблюваного матеріалу і притира, розділеними шаром дисперсної системи, залежить від

добротності резонатора на відповідних частотах, а продуктивність полірування визначається у відповідності до формули [7]:

$$Q = \eta L_t \frac{\tau}{t_c} q$$

де  $\eta$  – коефіцієнт об'ємного зносу;

$L_t$  – довжина шляху тертя частинки полірувального порошку по оброблюваній поверхні,

$t_c = d/u$  – час контакту частинки полірувального порошку з оброблюваною поверхнею,

$d$  – розмір частинок полірувального порошку,

$u$  – швидкість відносного переміщення деталі та притира,

$\tau$  – час життя кластерів оброблюваної поверхні у збудженому стані,

$q = v_1/(v_2 - v_1)$  – добротність резонатора,

$v_2, v_1$  – частоти коливань молекулярних фрагментів кластерів на поверхні частинок полірувального порошку та на оброблюваній поверхні).

Результати визначення продуктивності зняття оброблюваного матеріалу та параметрів шорсткості оброблених поверхонь наведено в таблиці 1.

Таблиця 1 – Показники полірування полімерних оптичних матеріалів

Показники полірування	Оброблюваний матеріал			
	ПС	ПММА	ПС	ПММА
Дисперсна система	ДС1		ДС2	
Продуктивність полірування, мг/хв.	0,25	1,10	0,002	2,57
Параметри шорсткості				
$Ra$ , нм	8,9±0,4	12,0±0,8	5,2±0,2	29,1±2,1
$Rq$ , нм	9,6±0,4	12,8±0,9	5,5±0,2	31,3±2,8
$R_{max}$ , нм	17,1±1,7	20,3±2,2	9,6±0,9	51,1±8,6

В результаті досліджень показано, що під час полірування ПС і ПММА за допомогою дисперсної системи ДС1 досягаються показниками полірування, які задовольняють вимогам, що висуваються до оптичних поверхонь.

#### Список посилань

1. Полірування оптичних поверхонь деталей з полімерних матеріалів. / [Філатов Ю.Д., Сидорко В.І., Бояринцев А.Ю., Ковальов С.В., Кулич В.Г., Ковальов В.А., Юрчишин О.Я.] // Збірник наукових праць «Інструментальне матеріалознавство». Вип. 25. – Київ: ІНМ ім. В.М. Бакуля, 2022. – с. 331–337.

2. Polariton-assisted manipulation of energy relaxation pathways: donor–acceptor role reversal in a tuneable microcavity. / [Dovzhenko D., Lednev M., Mochalov K., Vaskan I., Rakovich Yu., Nabiev I.] // Chem. Sci. – 2021. – Vol. 12. – P. 12794-12805.

3. Nabiev I., Strong light-matter coupling for optical switching through the fluorescence and FRET control. PhysBioSymp 2019. J. Physics: Conference Series. 2021. Vol. 2058 (012001). P. 1–7.

4. Transfer Energy in the Interaction of an Optical Surface with a Polishing Disperse System. / [Filatov Yu.D., Sidorko V.I., Boyarintsev A.Y., Kovalev S.V., Kovalev V.A.] // J. Superhard Materials. – 2022. – Vol. 44. – no. 2. – P. 117–126.

5. Filatov Yu.D., Relationship between the Transfer Coefficients and Transfer Energy during the Polishing of Nonmetallic Materials. / Filatov Yu.D. // J. Superhard Materials. – 2022. – Vol. 44. – no. 3. – P. 226–228.

6. Перенесення енергії між оброблюваною оптичною поверхнею та дисперсною системою при поліруванні. / [Філатов Ю.Д., Сидорко В.І., Бояринцев А.Ю., Ковальов С.В., Кулич В.Г., Ковальов В.А., Юрчишин О.Я. Гаращенко В.В.] // Збірник наукових праць «Інструментальне матеріалознавство». Вип. 24. – Київ: ІНМ ім. В.М. Бакуля, 2021.– с. 417–424.

7. Filatov Yu.D., New Patterns of Polishing Surfaces of Parts Made of Nonmetallic Materials. / Filatov Yu.D. // J. Superhard Mater. – 2023. – Vol. 45, no 2. – P. 140–149.