

**В. Н. Ткач** д-р физ.-мат. наук., **А. П. Денисенко**, **В. В. Белорусец**,  
**Т. Н. Беляева**, **Е. Ф. Кузменко**

*Институт сверхтвёрдых материалов им В.Н. Бакуля НАН Украины, ул. Автозаводская 2,  
04074 г. Киев, E-mail: tkach@ism.kiev.ua*

## **ДИСПЕРГИРОВАНИЕ СТЕКЛА ПРИ ШЛИФОВАНИИ И ПОЛИРОВАНИИ. МЕХАНИЗМ ЕГО УДАЛЕНИЯ**

*Проведенные нами исследования и анализ существующих точек зрения на механизм диспергирования стекла при шлифовании и полировании специальным инструментом со связанным абразивом показало их различия. Так характер разрушения частиц стекла, собранного при его шлифовании, однозначно говорит о его хрупком разрушении при обработке. В случае взаимодействия стекла и инструмента в присутствии воды при полировании была обнаружена стружка в виде пластинок коллоидного происхождения, полученных в результате гидролиза стекла, впоследствии образующих конгломераты.*

**Ключевые слова:** инструмент со связанным абразивом, трибохимический процесс полирования, когезия активированной рабочей поверхности инструмента, конгломерат коллоидных частиц стекла, частицы стекла полученные в результате его хрупкого разрушения

### **Введение**

При изготовлении оптических деталей основными процессами для получения точных и чистых поверхностей являются шлифование и полирование при помощи абразивных порошков в свободном и связанном состоянии. Благодаря тому, что большинство оптических материалов обладает высокой хрупкостью, процессы шлифования используются для сообщения изделиям необходимых формы и размеров. Операции шлифования образуют процесс последовательного удаления слоев материала с целью формообразования и измельчения шероховатости оптической поверхности при подготовке ее к полированию как основному заключительному этапу обработки со сложным комплексом физико-химических явлений. Цель настоящей работы – исследование влияния характера диспергирования стекла на показатели обработки.

### **Исследование влияния параметров процесса на эффективность шлифования и полирования стекла**

Анализ опубликованных исследований [1, 3–5], в которых авторы рассматривали работу абразивного зерна при его воздействии на стекло путем давления и одновременного перемещения, показал, что элементарный процесс разрушения стекла зернами заключается в массовом

образовании пересекающихся царапин и трещин, в результате чего частицы стекла выкалываются. Возникающие под воздействием абразивных зерен трещины, неоднократно взаимно пересекаясь, обуславливают удаление мелких осколков стекла с поверхности и распространяются также на некоторое расстояние вглубь.

Таким образом, процесс шлифования хрупких материалов при условиях, обеспечивающих интенсивное разрушение поверхности, представляет собой хрупкое разрушение с образованием царапин, системы трещин и выкалывания материала. Шлифование же при малых нагрузках на зерна абразива и чрезвычайно малой глубине внедрения их в материал может представлять собой разрушение с образованием выдавленных царапин и царапин, сопровождающихся отделением стружки. И в том, и другом случае

микрорельеф обработанной поверхности представляет собой результат многократных пересечений царапин и диспергирования при этом материала.

Наши исследования частиц шлама (стружки) стекла, полученных при шлифовании, показывают характерные следы его хрупкого разрушения и представлены на рис. 1.

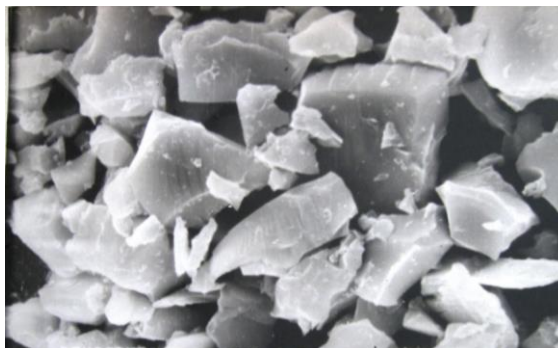


Рис. 1. Шлам оптического стекла К 8, собранного при его шлифовании

образования на их поверхности пленки чрезвычайно малой толщины образуется на поверхности стекла в результате его энергичного взаимодействия с водой. При полировании порошок адсорбируется поверхностью стекла и связывает ее с полировальником, срывая при движении последнего коллоидную пленку с выступов шлифованной поверхности. Процесс полирования заключается в попеременном

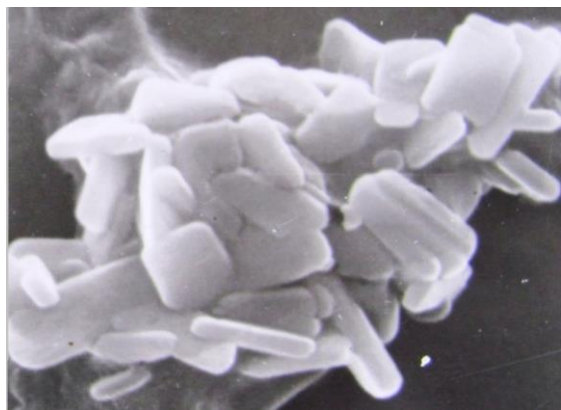


Рис. 2. Конгломерат из коллоидных частиц стекла, собранных при его полировании

возникновении и срывании пленки, в результате чего происходит удаление стекла с поверхности и постепенное ее выравнивание. Таким образом, в теории полирования стекла основной является химическая природа процесса, а механическое удаление материала играет второстепенную вспомогательную роль.

При разработке процесса полирования стекла инструментом со связанным абразивом исследовался механизм трибохимического фрикционного взаимодействия рабочего слоя специального полировального круга, изготовленного согласно [2], с обрабатываемым стеклом в присутствии чистой воды. Взаимодействие обрабатываемой поверхности стекла с активной рабочей поверхностью инструмента приводит к дезорганизации и разрыхлению тонкой поверхности пленки обрабатываемого стекла. В результате происходит нарушение связи в граничной области между пленкой и основной массой материала. Ослабленная таким образом пленка в виде пластинок механически удаляется инструментом. Эти пластинки, полученные в результате хемосорбции и гидролиза стекла при его полировании, впоследствии соединяются в конгломераты (рис. 2).

Из приведенных выше наших результатов экспериментальных исследований и сведений, полученных из работ известных авторов [1, 3–5], о процессе полирования нужно отметить следующие особенности, характеризующие сам процесс, а именно:

- резкое уменьшение производительности полирования (в 50–70 раз) при замене воды органическими безводными жидкостям;
- важность образования гидrolитического разложения поверхностного слоя стекла и образование кремнеземной пленки, обладающей по сравнению с глубинным стеклом меньшей прочностью, что облегчает ее удаление при полировании;
- разрушение и деформация стекла возрастает при понижении твердости пленки в случае введения в жидкость, соприкасающуюся с твердым телом, поверхностно-активных веществ.

Следует отметить интересную особенность разработанного нами полировального инструмента со связанным абразивом [2], который при полировании стекла при определенных условиях, а именно, минимального количества подачи воды и при максимальном разрыхлении рабочей поверхности полировального инструмента, может привести к нежелательному результату. Во время полирования деталей из стекла инструментом на основании оксида церия вследствие чрезмерной активности этой фрикционной пары образуется налет на стекле из продуктов полирования стекла и износа инструмента. Этот налет толщиной 5–6 мкм цепко удерживается на поверхности инструмента, создавая дефектообразования на обрабатываемой поверхности стекла. В особых случаях, происходит отрыв (когезия), в первую очередь из-за адсорбции пленки кремнезема на частицах окиси церия, содержащихся на рабочей поверхности инструмента [3, 4]. Технологическим признаком активации до уровня когезии является резкое повышение мощности полирования вплоть до аварийного отрыва на глубину до 1мм поверхности стекла, показанного на рис. 3.



Рис. 3. Следы когезионного разрушения стекла при полировании

### Выводы

Рассмотрены различные точки зрения на механизм диспергирования стекла при шлифовании и полировании. Продукты диспергирования (удаления) собирались из отработанной СОЖ и изучались на германиевой или кремневой подложке при помощи растрового электронного микроскопа Carl Zeiss EVO 50XVP и энерго-дисперсионного анализатора рентгеновских спектров INCA 450 (Oxford). Полученные снимки демонстрируют существенное различие между продуктами диспергирования стекла при шлифовании и полировании и указывают на различную природу этих процессов. Из приведенных данных следует, что при шлифовании мы имеем хрупкое разрушение частиц стекла, а полирование происходит, главным образом, вследствие физико-химического взаимодействия стекла и инструмента в присутствии воды путем образования и удаления пленки. Очевидно, что дальнейшее продвижение по пути раскрытия сущности процесса полирования возможно лишь при условии расширения фактической экспериментальной базы, на которую должна опираться любая гипотеза.

Проведені нами дослідження та аналіз існуючих точок зору на механізм диспергування скла при шліфуванні і поліруванні спеціальним інструментом зі зв'язаним абразивом показало їх відмінності. Так характер руйнування частинок скла, зібраного при його шліфуванні, однозначно говорить про його крихке руйнування при обробці. У разі взаємодії скла та інструменту в присутності води при поліруванні була виявлена стружка у вигляді пластинок колоїдного походження, отриманих в результаті гідролізу скла, які згодом утворюють конгломерати.

**Ключові слова:** інструмент із зв'язаним абразивом, трибохімічний процес полірування, когезія активованої робочої поверхні інструменту, конгломерат колоїдних частинок скла, частинки скла отримані в результаті його крихкого руйнування.

**V. N. Tkach, A. P. Denisenko, V. V. Belorusets, T. N. Belyaeva, E. F. Kuzmenko**

*V. N. Bakul Institute for superhard materials of NAS of Ukraine*

### **GLASS DISPERSION DURING HIS GRINDING AND POLISHING.**

#### **MECHANISM OF HIS REMOVAL**

*Our research and analysis of existing points of view on the mechanism of glass dispersion by grinding and polishing with a special abrasive tool showed their differences. Character of the destruction of glass particles, obtained during of grinding, showed its brittle fracture. In case interaction of glass and tools in presents water by polishing were detected chips in the form of plate colloidal origin, as result of hydrolysis of glass with subsequent forming conglomerates.*

**Key words:** *tool with bonded abrasive, tribochemical polishing process, cohesion of the activated tool working surface, conglomerate of colloidal glass particles, glass particles obtained as a result of its brittle fracture.*

#### **Литература**

1. Suratwala T. I. *Materials Science and Technology of Optikal Fabricationby*. – New York: Wiley, 2018.– 416 p.
2. А. с. № 1263513 СССР, МКИ В24 D 3/34. Масса для изготовления полировального инструмента / А. П. Денисенко, В. В. Рогов, В. В. Гужов и др. – Опубл. 15.10.86; Бюл. № 38.
3. Филатов Ю. Д. Взаимодействие частиц шлама с частицами износа полировального порошка при полировании оптоэлектронных элементов // *Сверхтв. материалы*. – 2018. – № 4. – С. 71–81.
4. Філатов Ю. Д., Сідорко В. І., Філатов О. Ю., Ковальов С. В. Фізичні засади формоутворення прецизійних поверхонь під час механічної обробки неметалевих матеріалів. – К.: Наукова думка, 2017. – 248 с.
5. Рогов В. В. Финишная алмазно-абразивная обработка неметаллических деталей. – К.: Наукова думка, 1985. – 264 с.

*Поступила 25.06.19*

#### **References**

1. Suratwala, T. I. (2018). *Materials Science and Technology of Optikal Fabricationby*. New York: Wiley.
2. Denisenko, A. P., Rohov, V. V., Huzhov, V. V., et al. (1986). Patent of SU 1263513 [in Russian].
3. Filatov, Yu. D. (2018). Vzaimodeistvie chastits shlama s chastitsami iznosa polirovalnoho poroshka pri polirovanii optoelektronnykh elementov [Interaction between debris particles and polishing powder wear particles in polishing optoelectronic components]. *Sverkhhtverdye materialy – Journal of Superhard Materials*, 40, 4, 71–81.
4. Filatov, Yu. D., Sidorko, V. I., Filatov, O. Yu., & Kovalov, S.V. (2017).

5. *Fizychni zasady formoutvorennia pretsyziinykh poverkhon pid chas mekhanichnoi obrobky nemetalevykh materialiv [Physical principles of formulation of precision khon during mechanical processing of nonmetallic materials]*. Kiev: Naukova dumka [in Ukrainian].
6. Rohov, V. V. (1985). *Finishnaia almazno-abrazivnaia obrabotka nemetallicheskih detalei [Diamond-abrasive finishing of non-metallic details]*. Kiev: Naukova dumka [in Russian].

УДК 621.921:621.922.079–033.5

DOI: 10.33839/2223-3938-2019-22-1-500-505

**С. А. Кухаренко**, канд. техн. наук

*Институт надтвердых материалов им. В.М. Бакуля НАН Украины, вул. Автозаводська, 2,  
04074, м. Київ, e-mail: svetlana0401@ukr.net*

## **ВПЛИВ ПОРОШКІВ НТМ НА СТРУКТУРНІ ПЕРЕТВОРЕННЯ В СКЛОКОМПОЗИТАХ ПРИ ТЕРМООБРОБЦІ**

*Викладено основні результати дослідження впливу порошків алмазу та кубоніту на структурні перетворення в силікатних багатоконпонентних системах, які широко використовуються в інструментальних композиційних матеріалах на керамічних зв'язуючих. Показано, що, введення алмазних мікропорошків АСМ 10/7 підвищує зносостійкість склокомполімеру в 1,3 рази.*

**Ключові слова:** скло, алмаз, структурні перетворення, абразивовмісні склокомполімери

При виготовленні абразивних інструментів з надтвердих матеріалів (НТМ) в якості зв'язуючих керамічних зв'язок використовується скло різних систем. Перехід скла в склокристалічний стан призводить, зокрема, до підвищення твердості і зносостійкості матеріалу, що позитивно позначається на працездатності інструменту. Цей момент особливо важливий при використанні в якості зв'язуючих таких складів легкоплавкого скла, що мають низькі механічні характеристики в порівнянні з тугоплавкими.

Цікавим є визначення впливу порошків НТМ (алмазу і кубоніту) на кристалізацію стекол. Як об'єкти досліджень прийняті склади скла в наступних системах:  $PbO-ZnO-B_2O_3-SiO_2$ ,  $PbO-ZnO-B_2O_3$ ,  $PbO-SiO_2-B_2O_3$ ,  $PbO-B_2O_3$  і  $PbO-SiO_2$ . Введення шліф- і мікропорошків алмазу і кубоніту в скло системи  $PbO-ZnO-B_2O_3-SiO_2$  не впливає за даними диференційно-термічного аналізу (ДТА) на кристалізацію цього скла. Введення алмазу і кубоніту в інші системи скла, крім скла в системі  $PbO-SiO_2$ , знижує їх кристалізаційну здатність.

Серед досліджених систем скла, виходячи з даних ДТА (рис. 1), порошки алмазу, введені в скло системи  $PbO-SiO_2$ , підсилюють його кристалізацію. Це скло при термообробці кристалізується за рахунок мікроліквіації. Воно має на кривій ДТА максимальний ендотермічний ефект, який через горизонтальний відрізок кривої ДТА переходить в екзотермічний ефект. Відмінною особливістю цього скла в порівнянні з іншими дослідженими є мінімальна протяжність горизонтальної ділянки на кривій ДТА (460–480 °С), а також найбільш інтенсивний екзотермічний ефект (510 °С). Скло спікається і кристалізується при мінімальному вмісті рідкої фази.

Введення в скло мікропорошків алмазу марок АСМ 3/2–14/10 в кількості 25% (за об'ємом) призводить до виникнення другого екзотермічного ефекту кристалізації скла при температурі 650 °С (рис. 1). Зі збільшенням зернистості мікропорошків алмазу кристалізація знижується. Шліфпорошки алмазу практично не впливають на додаткову кристалізацію скла.