

НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ НАУК УКРАЇНИ
ІНСТИТУТ НАДТВЕРДИХ МАТЕРІАЛІВ
ІМ. В.М.БАКУЛЯ

УДК [621.923:[621.922:621.
921.34]]:681.7

На правах рукопису

ФІЛАТОВ Юрій Данилович

НАУКОВІ ОСНОВИ ПРЕЦИЗІЙНОГО ПОЛІРУВАННЯ ПОВЕРХОНЬ
ДЕТАЛЕЙ З КРЕМНЕЗЕМНИЦЮЧИХ МАТЕРІАЛІВ

Спеціальність - 05.03.01 - Процеси механічної обробки,
верстати та інструменти

Автореферат
дисертації на здобуття вченого ступеня
доктора технічних наук

Київ - 1996 р.



AB 35.038

Робота виконана в Інституті надтвердих матеріалів НАН України.

Науковий консультант - доктор технічних наук,
старший науковий співробітник
Рогов Валентин Васильович

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор
Рижов Едуард Вячеславович

доктор технічних наук, професор
Карюк Генадій Гаврилович

доктор фізико-математичних наук,
старший науковий співробітник
Сперкач Володимир Савелійович

Провідне підприємство - ЦКБ "Арсенал" (м. Київ)

Захист відбудеться "18" червня 1996 р. о 13.30 години на за-
сіданні спеціалізованої ради Д-50.01.01 при Інституті надтвердих
матеріалів НАН України за адресою: 254074, м. Київ-74,
вуд. Автоваводська, 2.

С дисертацією можна ознайомитися у бібліотеці Інституту над-
твердих матеріалів.

Автореферат розіслано "17" травня 1996 р.

Ваші відгуки на дисертацію у двох примірниках, завірені гер-
бовою печаткою установи, просимо направляти за вказаною адресою на
ім'я вченого секретаря спеціалізованої ради.

Учений секретар
спеціалізованої вченої ради
доктор технічних наук

А. Л. Майстренко

ЛННБ ім. В. Стефаніка
АН України

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність проблеми. Підвищення ефективності виробництва і випуск конкурентоздатної за якістю та вартістю продукції на підприємствах оптичного та електронного приладобудування, ювелірної промисловості і будіндустрії визначаються рівнем технології механічної обробки поверхонь деталей з кремнеземвміщуючих матеріалів.

Виготовлення деталей електронної техніки та оптичних систем, а також декоративно-художніх виробів, практично на всіх підприємствах світу здійснюється за традиційною технологією, яка включає тонке алмазне шліфування заготовок і їх полірування з використанням водних суспензій полірувальних порошків на основі оксидів рідкісноземельних металів (поліриту, діоксиду церію, церіту). Витрати вказаних порошків, які виробляються у Естонії, Казахстані, Франції, Японії і Великобританії, в залежності від розмірів та матеріалу оброблюваних деталей становлять від 3,6 до 4,8 кг на 1000 поверхонь. Необхідність закупівлі сотень тон полірувальних порошків і їх велика вартість призвели до того, що трудові витрати на операції полірування значно менші від матеріальних. Величезний парк устаткування, яке використовується для полірування деталей з кремнеземвміщуючих матеріалів, в результаті вносу із-за абразивної і хімічної дії полірувальних суспензій, потребує частого ремонту та оновлення за рахунок закупівлі за кордоном полірувальних верстатів і запасних частин до них.

Крім вказаних економічних проблем, які викликані недосконалістю технології фінішної обробки деталей з кремнеземвміщуючих матеріалів, перед оптико-механічними підприємствами стоять ще більш складні проблеми, зв'язані з екологією. Це використання та утилізація токсичних порошків оксидів рідкісноземельних металів.

Згадані проблеми можна вирішити тільки шляхом докорінної зміни технології полірування деталей з кремнеземвміщуючих матеріалів, при заміні полірувальних суспензій інструментом з зв'язаним полірувальним порошком, використанні води як технологічного середовища, значному скороченні споживання оксидів рідкісноземельних металів, зменшенні їх концентрації в повітрі робочої зони, виробничих приміщеннях та каналізаційних скидах.

Велика кількість наукових праць присвячена дослідженню закономірностей прецизійного формоутворення поверхонь деталей із скла, кварцу, оптичної кераміки та інших кремнеземвміщуючих матеріалів, вивченню механізму процесів їх тонкого шліфування і полірування,

розробці нових видів алмазного інструменту, складів полірувальних суспензій та технологічних засобів управління точністю формоутворення оброблюваних поверхонь.

Разом з тим, ще не вивчені механізми втомного та хемосорбційного зносу, які переважають у процесі усунення матеріалу з оброблюваної поверхні, не досліджені основні закономірності процесів формування прецизійних поверхонь, не створено єдиної концепції або моделі, які б описували основні закономірності процесу полірування деталей з SiO_2 -вміщуючих матеріалів. Відсутність такої загальної основи не дозволяє знайти зв'язок продуктивності обробки, шорсткості і точності геометричної форми поверхонь, інтенсивності зносу інструменту з фізико-хімічними та механічними властивостями оброблюваного матеріалу і інструменту, властивостями технологічного середовища та умовами процесу полірування.

Таким чином, розробка нової концепції прецизійного формоутворення поверхонь деталей з кремнеземвміщуючих матеріалів є важливою науковою проблемою, яка має велике народногосподарське значення. Вирішенню цієї проблеми присвячена дисертаційна робота.

Мета роботи полягає в обґрунтуванні нової концепції прецизійного формоутворення поверхонь деталей з кремнеземвміщуючих матеріалів на базі експериментально-аналітичного дослідження фізико-хімічної взаємодії інструмента з зв'язаним полірувальним порошком і оброблюваної деталі у процесі полірування.

Автор захищає:

1. Кластерну модель зносу поверхонь оброблюваної деталі і полірувального інструменту, які взаємно притираються.
2. Нові аналітично та експериментально встановлені залежності продуктивності полірування та інтенсивності зносу інструменту від фізико-хімічних властивостей оброблюваного матеріалу, полірувального інструменту та технологічного середовища, а також від режимних та кінематичних параметрів процесу обробки.
3. Механізм процесу полірування кремнеземвміщуючих матеріалів інструментом з зв'язаним полірувальним порошком на основі CeO_2 .
4. Метод уточненого розрахунку висотних параметрів шорсткості оброблюваної поверхні деталі.
5. Нові закономірності прецизійного формоутворення плоских, сферичних та циліндричних поверхонь, алгоритми та програми розрахунку на ПЕОМ конструкцій робочого шару полірувального інструменту

і кінематичних параметрів настройки верстата, які забезпечують відхилення їх форми у межах $N - 3 - 5$ інтерференційних кілець.

6. Уточнений технологічний регламент процесу прецизійного формоутворення оптичних поверхонь при поліруванні інструментом "Аквапол".

7. Нові інструменти для підготовки поверхонь під полірування та способи його виготовлення.

8. Нові інструменти для полірування прецизійних поверхонь деталей з SiO_2 -вміщуючих матеріалів та технології їх виготовлення.

9. Нові технологічні процеси полірування прецизійних поверхонь деталей з SiO_2 -вміщуючих матеріалів інструментом "Аквапол".

Наукова новизна

1. Уперше запропонована кластерна модель зносу поверхонь обробленої деталі та інструменту з зв'язаним полірувальним порошком, які взаємно притираються.

2. Одержано теоретично та експериментально підтверджено рівняння зносу, яке дозволяє розрахувати продуктивність зняття оброблюваного матеріалу та інтенсивність зносу інструменту в залежності від технологічних параметрів процесу полірування, конструктивних параметрів інструменту та деталі, фізико-хімічних властивостей оброблюваного матеріалу та інструменту, гідростатичних та гідродинамічних характеристик технологічного середовища і спектроскопічних характеристик контактуючих тіл.

3. На основі кластерної моделі зносу розроблено метод уточненого розрахунку висотних параметрів шорсткості обробленої поверхні, виходячи з розмірів часток диспергованого матеріалу.

4. Виявлено зв'язок між продуктивністю зняття оброблюваного матеріалу та його хімічним складом і відносною діелектричною проникністю.

5. Вивчено механізм втомного зносу кремнеземвміщуючих матеріалів при поліруванні інструментом з зв'язаним полірувальним порошком, який включає повне гідроксилювання обробленої поверхні за рахунок гідролізу та вищолення; утворення на ній деформованих зв'язків, які являють собою зародки часток зносу; гетеролітичний розрив деформованих зв'язків та утворення радикальних центрів; резонансне зростання енергії кластера, розрив подвійного зв'язку $Si - O$ з утворенням на поверхні силіленового центру; відрив кластера з випромінюванням електрону та утворення поверхневого неможливого атому кисню; окиснення силіленового центру; рекомбіна-

цію радикальних центрів та їх гідроліз в утворення поверхні, яка ідентична початковій.

6. Установлено, що при взаємодії часток SiO_2 і CeO_2 , які утворились у процесі полірування в зоні контакту оброблюваної деталі і інструменту, на поверхні інструменту вони локалізуються за рахунок фізичної адсорбції і утворюється наліт полімеризованого кремнезему за рахунок хемосорбції.

7. Розроблено метод розрахунку конструктивних параметрів інструменту та кінематичних параметрів настройки верстату, які забезпечують при поліруванні плоских і сферичних поверхонь точність їх гесметричної форми у межах $N - 3 - 5$ інтерференційних кілець.

Практичне значення роботи:

- розроблені нові інструменти для підготовки поверхонь під полірування та опособи їх виготовлення;
- розроблено новий інструмент "Аквапол" з зв'язаним полірувальним порошком та технологію його виготовлення;
- уперше розроблені методика і програми розрахунку на ПЕОМ конструкції робочого шару полірувального інструменту і параметрів настройки верстату, які забезпечують необхідну точність формування поверхонь;
- на основі результатів досліджень розроблено технологічний регламент нового процесу прецизійного формування оптичних поверхонь при поліруванні інструментом "Аквапол", використання якого забезпечує зниження трудомісткості полірування на 30%, збільшення розмірної стійкості полірувального інструменту в 150 разів, зменшення витрат полірувальних порошків у 10 разів, дозволяє докорінно покращити культуру виробництва та умови праці працюючих за рахунок виключення з процесу полірувальних порошків у вільному стані і отворити умови для автоматизації процесу обробки деталей.

Реалізація результатів та ефективність роботи.

Отримані наукові та практичні результати, винаходи і рекомендації впроваджені на 11 підприємствах оптико-механічної та електронної промисловості з загальним річним економічним ефектом біля 1230 тис. крб. у цінах 1990 р.

Особистий внесок автора є:

- розробка мет.дик проведення досліджень;
- аналіз та узагальнення одержаних результатів;

- розробка кластерної моделі зносу поверхонь оброблюваного матеріалу та інструменту, які взаємно притираються у процесі полірування;

- теоретичне обґрунтування та експериментальне підтвердження рівняння зносу, яке дозволяє розрахувати продуктивність зняття оброблюваного матеріалу та інтенсивність зносу інструменту в залежності від технологічних параметрів процесу полірування, конструктивних параметрів інструменту та деталі, фізико-хімічних властивостей оброблюваного матеріалу та інструменту, гідростатичних та гідродинамічних характеристик технологічного середовища і спектроскопічних характеристик контактуючих тіл;

- розробка нового методу розрахунку висотних параметрів шорсткості обробленої поверхні, виходячи з кластерної моделі та розмірів часток диспер.ованого матеріалу;

- вивчення механізму втоминого зносу кремнеземвміщувачих матеріалів при поліруванні інструментом з зв'язаним полірувальним порошком, який включає повне гідроксидування сброблюваної поверхні за рахунок гідролізу та вищолення; утворення на ній деформованих зв'язків, які являють собою зародки часток зносу; гетеролітичний розрив деформованих зв'язків та утворення радикальних центрів; резонансне зростання енергії кластера, розрив подвійного зв'язку Si-O в утворенням на поверхні силіленового центру; відрив кластера з випромінюванням електрону та утворенням на ній поверхневого немостикового атому кисню; окиснення силіленового центру; рекомбінація радикальних центрів та їх гідроліз з утворенням поверхні, яка ідентична початковій;

- теоретичне і експериментальне дослідження явища повторної полімеризації кремнезему у вигляді нальоту на поверхні інструменту за рахунок хемосорбції.

- розробка методу розрахунку конструктивних параметрів інструменту та кінематичних параметрів настройки верстата, які забезпечують при поліруванні плоских і сферичних поверхонь точність їх геометричної форми у межах $N - 3 - 5$ інтерференційних кілець.

Достовірність наукових результатів підтверджується великим обсягом проведених експериментальних досліджень в використанні сучасних методик, обладнання та апаратури.

Апробація роботи. Матеріали дисертаційної роботи доповідалися на міжнародних та всесоюзних конференціях, симпозиумах, нарадах, семінарах: "Новое в теории и практике создания и применения сияте-

тических сверхтвердых материалов в народном хозяйстве" (Київ, 1977 р.), "Прогрессивные технологические процессы изготовления оптических материалов и элементов для квантовой электроники" (Москва, 1978 р.), "Надтверді матеріали, виробництво та використання" (Київ, 1979 р.), "Технологічне управління якістю обробки та експлуатаційними властивостями деталей машин" (Київ, 1980 р.), "Дослідження та використання надтвердих і тугоплавких матеріалів" (Київ, 1981 р.), "Superhard materials" (Київ, 1981 р.), "Надтверді та тугоплавкі матеріали" (Київ, 1982 р.), "Нові прогресивні процеси алмазної обробки оптичних деталей з скла" (Київ, 1982 р.), "Вопросы прочности и пластичности металлов" (Мінськ, 1983 р.), "Виробництво та використання надтвердих матеріалів" (Київ, 1983р.), "Прогрессивная технология в оптическом производстве" (Москва, 1984 р.), "Прогрессивная технология и автоматизированное оборудование для обработки деталей из неметаллических материалов микрорелектронных устройств" (Львів, 1988 р.), "Алмазно-абразивная обработка деталей оптических систем и электронной техники" (Москва, 1988 р.), "Obrobka materialow niemetalowych" (Rzeszow, 1990 р.), "Новое в технологии обработки и контроле оптических деталей" (Москва, 1991 р.), "Новое в технологии обработки и контроле стекла, технической керамики, камня. Рыночные методы хозяйствования и экономического мышления в наукоемком производстве" (Ліда, 1994 р.), "Новое в технологии обработки стекла, кристаллов, керамики и поделочного камня" (Москва, 1995 р.), "Прогрессивная техника и технологии машиностроения" (Севастополь, 1995 р.), "Перспективи розвитку промисловості пластмас в Україні" (Львів, 1995 р.), "Совершенствование процессов финишной обработки в машино- и приборостроении, экология и защита окружающей среды" (Мінськ, 1995 р.).

Публікації. За темою дисертації опубліковано 80 робіт, з яких 54 роботи склали основу дисертації, серед яких 1 препринт і 24 авторські свідчення на винаходи. 12 робіт опубліковано без спів-авторів.

Структура та об'єм роботи. Дисертаційна робота складається з вступу, 6 розділів, загальних висновків, списку літератури з 392 найменувань і додатку. Робота викладена на 236 сторінках основного тексту з 122 рисунками та 37 таблицями. Загальний об'єм роботи складає 414 сторінок.

ЗМІСТ РОБОТИ

Структура дисертації відображає послідовність виконання теоретичних та експериментальних досліджень. У першому розділі приведено результати аналізу сучасних уявлень про будову скла та інших кремнеземвміщуючих матеріалів, про фізико-хімічні та механо-хімічні процеси, які відбуваються при обробці кремнезему, висвітлено основні положення існуючих теорій полірування та формоутворення оптичних поверхонь, приведено опис інструментів, які використовуються для їх прецизійної обробки, сформульовано мету та завдання досліджень. Другий розділ присвячений розробці методик проведення досліджень, визначенню показників процесів прецизійного формоутворення поверхонь та методів їх вимірювання, обґрунтуванню їх доцільності та достовірності. Третій розділ вміщує результати досліджень фізико-хімії процесів, які відбуваються при поліруванні скла інструментом з зв'язаним полірувальним порошком, побудовані на базі запропонованої автором кластерної моделі зносу поверхонь інструменту і деталі при поліруванні; аналіз рівняння зносу та виявлені на його основі нові закономірності процесів, що вивчаються. У четвертому розділі наведено результати дослідження механізму процесу полірування SiO_2 -вміщуючих матеріалів інструментом з зв'язаним полірувальним порошком, та взаємодії диспергованих часток оброблюваного матеріалу та інструменту, описані нова концепція механізму втомного зносу розглянутих матеріалів та експерименти по її перевірці та підтвердженню. П'ятий розділ присвячений дослідженню механізму формоутворення плоских, сферичних та циліндричних поверхонь оптичних деталей. У шостому розділі наведені результати розробки нових інструментів з зв'язаним полірувальним порошком та технологічних процесів прецизійної обробки деталей з кремнеземвміщуючих матеріалів, їх дослідно-промислової перевірки та впровадження у виробництво.

Перший розділ. Аналіз існуючих уявлень про будову та структуру скла та інших SiO_2 -вміщуючих матеріалів показав, що загальний підхід до різних модифікацій кремнезему базується на положенні про те, що всі вони є координаційними структурами, складеними з правильних тетраедрів SiO_4 . Але відстані $\text{Si} - \text{O}$ у тетраедрах не однакові: два зв'язки мають довжину 0,1606 нм, а два інших - 0,1612 нм. Це означає, що існують фрагменти SiO_2 , атоми яких з'єднані між собою порівняно короткими зв'язками, а з атомами сусідніх фрагментів - більш довгими. Сили взаємодії фрагментів SiO_2 значно менші

сил взаємодії між атомами у фрагменті (приблизно у 1,8 разів).

Група, в яку входить атом кремнію, два атоми кисню даного фрагмента і два атоми кисню, з'єднані з ним донорно-акцепторними зв'язками, утворює квазітетраедричну конфігурацію в двома короткими ("сильними") зв'язками Si - O і двома більш довгими вторинними (більш "слабкими") зв'язками Si + O, та кутами OSiO - близькими до тетраедричних. Крім того, доведено, що структура і будова кремнеземів, їх гідроксильованого шару та дефектних центрів, - можуть бути описані на основі кластерних моделей.

При механічній дії на поверхню SiO₂-вміщувачого матеріалу спостерігаються явища механоемісії електронів та триболомінесценції, причому відповідальні за них центри, які виникають при терті, такі самі, як і при інших видах збудження поверхні.

При механохімічній активації на поверхні кремнезему утворюються різні типи дефектів: =Si...O...Si=, =Si·, =SiO·, -Si·, -Si-O, причому комплементарні дефекти =Si· та =SiO· утворюються за гетеролітичним механізмом, а мінімальну енергію збудження мають центри =SiO· і -Si·, активність яких найбільша.

Аналіз сучасних уявлень про механізм полірування скла та інших кремнеземвміщувачих матеріалів показує, що зняття оброблюваного матеріалу відбувається за рахунок хімічних процесів гідролізу та вищолення, а також адгезійного, хемосорбційного та втомного зносу при провідній ролі останнього. Відсутність знань про закономірності цих процесів обумовила неможливість розрахунків інтенсивності зносу матеріалу оброблюваної деталі та інструменту, параметрів шорсткості обробленої поверхні, а також прогнозування форми прецизійних поверхонь оптичних деталей при поліруванні. Для обробки прецизійних поверхонь деталей приладобудування традиційно використовуються смоляні полірувальники і суспензії полірувальних порошоків.

В дисертаційній роботі основна увага приділена вивченню закономірностей процесу полірування згаданих матеріалів, розкриттю його механізмів і фізичної сутності. Науковий напрямок, який розроблено в дисертації, базується на результатах фундаментальних досліджень в галузі теоретичної і молекулярної фізики, оптики, механохімії, хімічної фізики і трибології, поглядів на будову кремнезему, теорій ван-дер-ваальсових сил і кластерів.

Розділ закінчується постановкою мети та завдань досліджень, які впливають на аналіз літературних джерел.

Другий розділ. Для вирішення завдань, які поставлені у роботі, використовувалися відомі та спеціально розроблені методики досліджень. Досліди проводились на устаткуванні, яке широко використовується у оптико-механічній промисловості при с'юробці деталей електронної техніки та оптичних систем. Фізико-хімічні та фізико-механічні параметри оброблюваних деталей, інструментів і технологічного середовища визначались методами, які прийняті у оптиці, тепло- і молекулярній фізиці, хімії і фізхімії.

В роботі використані кремнеземвміщуючі матеріали (натрієво-силікатне, боролантанове, кришталеве та кварцове скло, поділкиве та будівельне каміння) більш як 30 найменувань, а також порошки оксидів рідкісноземельних металів (поліріт оптичний марки ПД (Естонія), поліріт технічний (Казахстан), церіт, діоксид церію, порошок церієвий ПЦ, еполл, фотопол (Росія), суперабразив "FR-Remilox" фірми "Фуджімі Кенмацай" (Японія) та інші.

Вивчення закономірностей процесу полірування кремнеземвміщуючих матеріалів, стану поверхонь інструменту і деталі, розподілу часток зносу за розмірами адійснювалось з залученням сучасних методів профілометрії, ІК-спектроскопії, фрактографічного, рентгеноспектрального дисперсійного аналізу, капілярної і ротаційної висковиметрії, оптичної мікроскопії, еліпсометрії, фототермостимульованої екзоелектронної емісії та спектрофотометрії. Точність формування оброблюваних прецизійних поверхонь визначалась інтерференційними методами за допомогою інтерферометра мод. 250 (фірми "Carl Zeiss") та спеціально розробленої лазерної установки для контролю відхилення від площини та клиновидності оптичних деталей.

Третій розділ. Для досліджень фізико-хімії процесів формування поверхонь деталей з кремнеземвміщуючих матеріалів інструментом з зв'язаним полірувальним порошком та встановлення нових закономірностей процесу полірування розроблена кластерна модель зносу скла і робочого шару інструменту.

Виходячи з квазитетраедричної моделі будови скла, теорії втормного зносу твердого тіла Крагельського і теорії кластерів запропонована кластерна модель зносу, згідно в якій:

- поверхня (інструменту) складається з набору кластерів;
- при силевій взаємодії контактуючих поверхонь кластери адійснюють коливання навколо положення рівноваги;
- знос поверхні є результатом відриву кластера.

З використанням цієї моделі і формалізму теорії Matusek M. і Kousky J. про швидкість зняття скла при поліруванні, виведено рівняння аносу, згідно з яким об'єм знятого матеріалу V дорівнює:

$$V = \frac{U}{U + U_0} \cdot \Gamma_{\text{кл}} \cdot V_{\text{кл}} \quad (1)$$

де U - швидкість відносного переміщення поверхонь оброблюваної деталі та інструменту, U_0 - характеристична швидкість, $\Gamma_{\text{кл}}$ і $V_{\text{кл}}$ - кількість і об'єм кластерів.

Скориставшись результатами А.С.Ахматова, І.В.Крагельського, М.М.Добичіна, В.С.Комбалова, М.Хебді, А.В.Чичинадзе, а також положеннями теорії ван-дер-ваальсових сил Ю.С.Вараша, аналізуючи гідродинамічну і механічну схеми процесу полірування, виходячи з прийнятої квазитетраедричної структури скла і розглядаючи поведінку фрагментів кремнезему під дією зовнішніх сил, визначено, що:

$$\Gamma_{\text{кл}} = \frac{\omega_{123} S^3 p_a \rho g}{2\pi^5 R^3 F_t} \cdot \exp\left(-\frac{E_{\text{св}}}{E_{\text{кл}}}\right) \cdot t \quad (2)$$

де $E_{\text{св}}$ і $E_{\text{кл}}$ - енергії зв'язку оброблюваного матеріалу і кластера,

$$\omega_{123} = \int_0^{\infty} d\omega \frac{[\epsilon_1(\omega) - \epsilon_2(\omega)][\epsilon_2(\omega) - \epsilon_3(\omega)]}{[\epsilon_1(\omega) + \epsilon_2(\omega)][\epsilon_2(\omega) + \epsilon_3(\omega)]} - \text{константа Ліфшиця,}$$

$\epsilon_1, \epsilon_2, \epsilon_3$ - діелектрична проникність оброблюваного матеріалу, інструменту і технологічного середовища на частоті ω , R - радіус інструменту, S - площа контакту оброблюваної деталі і інструменту, p_a - тиск притискування інструменту до деталі, ρ - густина технологічного середовища, g - прискорення вільного падіння, t - час полірування,

$$F_t = [\beta_H (\cos\theta_1 + \cos\theta_2) - 2Un]^3 \left(\frac{\cos\theta_1}{\cos\theta_2} - \text{tg}\theta_2 \right) \cdot \frac{\text{tg}\theta_2}{\beta_H} - \text{функція}$$

технологічного середовища, β_H - коефіцієнт поверхневого натягу, η - в'язкість, θ_1 і θ_2 - кути змочування рідиною поверхонь деталі і інструменту,

$$V_{\text{кл}} = \frac{M_1}{N_A \cdot \rho_1} \frac{\omega_{01}^{4-n}}{(\omega_{01}^2 - \omega_{02}^2)^2} \quad (3)$$

де M_1 і ρ_1 - молекулярна маса і густина оброблюваного матеріалу, N_A - число Авогадро, ω_{O1} і ω_{O2} - власні частоти коливань SiO_2 у оброблюваній деталі і CeO_2 у інструменті.

Визначаючи кількість зіткнень фрагментів скла і інструменту і враховуючи те, що взаємодія їх поверхонь буде найефективнішою при відносній швидкості їх переміщення, рівній U_0 , а також прийнявши ефективний переріз зіткнення рівним половині розміру кластера, а розмір фрагмента - 1,5 довжини зв'язку $Si-O$ ($l_{Si-O} = 0,1606$ нм), виведено рівняння для характеристичної швидкості U_0 (M_2 і ρ_2 - молекулярна маса і густина CeO_2):

$$U_0 = \frac{8M_2\omega_{O1}}{9\pi^2 N_A \rho_2^2 l_{Si-O}^2} \cdot [1 - (\omega_{O2}/\omega_{O1})^2]^{1/4}, \quad (4)$$

З урахуванням (2) - (4), рівняння вносу (1) можна подати у вигляді:

$$Q = \frac{dV}{dt} = \Phi \cdot \Omega \cdot E \cdot F_t^{-1} \cdot \exp\left(-\frac{E_{св}}{E_{квл}}\right), \quad (5)$$

де $\Omega = \left(\frac{\omega_{O1} \cdot \omega_{O2}}{\omega_{O1} + \omega_{O2}}\right) \left(\frac{\omega_{O1}^2}{\omega_{O1}^2 - \omega_{O2}^2}\right)^{1/2}$ - частотна функція,

$E = \frac{[\epsilon_1 - \epsilon_3][\epsilon_2 - \epsilon_3]}{[\epsilon_1 + \epsilon_3][\epsilon_2 + \epsilon_3]}$ - дисперсійна функція діелектричних проникностей,

$\Phi = \frac{3}{4\pi^5} \frac{\rho_a U}{U + U_0} \cdot \frac{M_1 g}{N_A} \cdot \frac{\rho'}{\rho_1} \cdot \left(\frac{S}{R}\right)^3$ - функція, яка

характеризує вплив на Q режимів обробки, конструктивних параметрів інструменту і деталі, густини оброблюваного матеріалу та технологічного середовища.

Скориставшись результатами розрахунків величин, які входять до формули (5): $\Omega = 4,12 \cdot 10^{15}$, $E = 0,01$, $F_t = 1,61 \cdot 10^{-3} \text{ н}^2/\text{м}^2$, $U_0 = 1,22$ м/с, а також визначаючи енергію зв'язку за формулою: $E_{св} = (\sum \alpha_i E_i)/100\%$ (α_i - вміст у склі оксидів Me_xO_y , E_i - енергія зв'язку $Me-O$), встановлено, що у процесі полірування плоскої поверхні деталі з скла марки К8 діаметром 60 мм інструментом, який складається з 12 полірувальних елементів "Аквапол" діаметром 10 мм, на верстаті мод. ЗШП-200М при $\rho_a = 0,05$ МПа і $U = 0,5$ м/с продуктивність зняття скла складає $Q = 0,93 \cdot 10^{-11} \text{ м}^3/\text{с}$ (0,197 мм/хв. або 14 мг/10 хв.). Експериментально визначена величина - 0,224

мкм/хв. або 16 мг/10 хв. Відхилення розрахованої величини продуктивності обробки скла при поліруванні від експериментально вимірної не перевищує 15 %.

Виведене рівняння зносу (5) крім відомих залежностей продуктивності полірування скла від режимних параметрів процесу обробки описує і її залежність від фізико-хімічних властивостей інструменту, деталі і технологічного середовища за допомогою функцій Ω , E , F_t та експоненційного множника. Аналіз цих функцій дає можливість описати ефекти і закономірності процесу полірування скла інструментом з зв'язаним полірувальним порошком.

Принципово важливою особливістю частотної функції Ω є наявність в ній резонансного множника. При рівності власних частот коливань фрагментів у інструменті і оброблюваної деталі ($\omega_{01} = \omega_{02}$, $dV/dt \rightarrow \infty$) за рахунок збільшення розмірів кластерів, які відриваються з оброблюваної поверхні, може спостерігатися її руйнування. Саме це було зафіксовано при взаємодії двох однакових деталей з скла марки К8 з полірованими поверхнями. В результаті їх взаємодії на протязі 5 хвилин на поверхнях утворились широкі (до 0,5 мм) подряпини і виколки, а також сліди руйнування (сколи по краях деталей).

Другою особливістю в рівнянні зносу є експоненційний множник, який залежить від енергії зв'язку $E_{св}$, визначеної хімічним складом оброблюваного матеріалу. На рис. 1 приведено залежність $\ln Q$ від енергії зв'язку $E_{св}$ для кремнеземвміщуючих матеріалів (I - натрієвосилікатне, II - боролантанове скло).

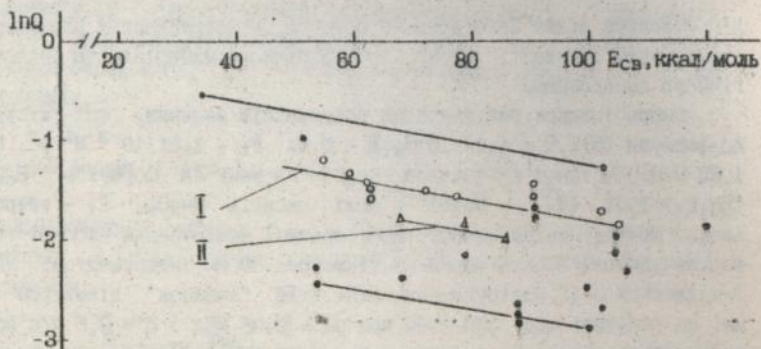


Рис. 1. Залежність продуктивності полірування кремнеземвміщуючих матеріалів Q від енергії зв'язку $E_{св}$

Для силікатного та боролантанового скла, будівельного та по-ділкового каміння продуктивність полірування Q експоненційно зменшується при збільшенні енергії зв'язку. Крім того, визначаючи залежність I (рис. 1) емпіричною формулою $\ln Q = -k \cdot E_{\text{св}} + b_1$, і розрахувавши коефіцієнти k і b_1 за допомогою методу найменших квадратів ($k = 0,00926$; $b_1 = -0,8$), визначена енергія кластера $E_{\text{кл}} = k^{-1}$ як величина, зворотня тангенсу кута нахилу функції $\ln Q$. Підраховане значення $E_{\text{кл}} = 108$ ккал/моль $= 4,69$ еВ практично співпадає (відхилення -11%) з отриманою у рамках розглянутої моделі величиною $5,29$ еВ.

Розглядаючи функцію E і переходячи до статичної діелектричної проникності ϵ^0 , можна встановити, що продуктивність полірування кремнеземвміщуючих матеріалів буде пропорційна величині відношення $(\epsilon^0_1 - \text{const}) / (\epsilon^0_1 + \text{const})$, яка зростає при збільшенні ϵ^0_1 . На рис. 2 приведена експериментальна залежність продуктивності полірування кремнеземвміщуючих матеріалів Q від їх діелектричної проникності ϵ^0_1 , яка показує, що при взаємодії інструмента і оброблюваної деталі у процесі полірування має місце прояв сил Ван-дер-Ваальса.

Результати вимірів, наведені на рис. 1 і 2, розташовані в середині зон, в яких виділені залежності для силікатного (I) і боро-

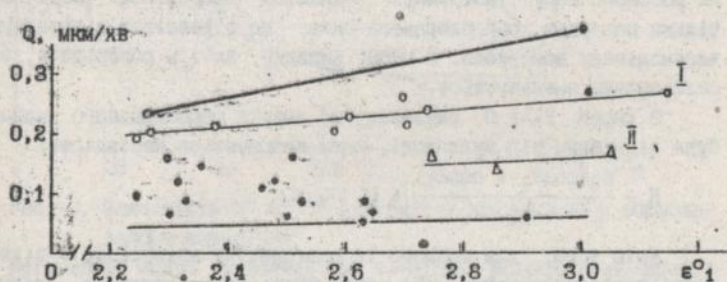


Рис. 2. Залежність продуктивності полірування кремнеземвміщуючих матеріалів від їх діелектричної проникності.

лантанового (II) скла, вказують на те, що поряд з загальними закономірностями, які властиві для всіх SiO_2 -вміщуючих матеріалів, у природного каменю продуктивність полірування Q зв'язана не тільки з вмістом кремнезема, а і з наявністю в них різних, часто неконтрольованих, домішків, які властиві кожному родовищу.

При використанні в якості полірувального інструмента металевих дисків (з діелектричною проникністю $\epsilon^0_2 = \infty$) ван-дер-ваальсо-

ва взаємодія є відштовхувальною і зняття скла практично не відбувається, що спостерігається експериментально.

Аналогічна ситуація виникає і при заміні технологічного середовища - води на гао або трансформаторне масло. У цьому випадку відбувається відштовхування поверхонь деталі і інструмента через те що, $\epsilon^{\circ 3} - 2 < \epsilon^{\circ 1} - 2,27 < \epsilon^{\circ 2} - 21,2$ - для гаю і $\epsilon^{\circ 1} - 2,27 < \epsilon^{\circ 3} - 2,3 < \epsilon^{\circ 2} - 21,2$ - для трансформаторного масла, зняття скла значно зменшується, що співпадає з відомими експериментальними результатами.

Розглядаючи функцію технологічного середовища F_t , зауважено, що притягання взаємодіючих поверхонь інструмента і деталі відбувається тільки при $F_t > 0$, тобто при виконанні умов $\theta_2 > \theta_1$ і $\theta_2 - \theta_1 < \pi/2$. Тільки при використанні в якості технологічного середовища води ці умови виконуються і процес полірування протікає найбільш ефективно. Якщо використовуються такі рідини як спирт, ацетон та ін. спостерігається ідеальне змочування поверхні інструмента ($\theta_2 = 0$) і перша умова не виконується. Це спостерігається і при доданні в воду незначної кількості поліетиленполіаміну: полярні групи NH_2 орієнтуються у напрямку поверхні скла і остання гідрофобізується ($\theta_1 > \pi/2 > \theta_2$). Аналогічна ситуація виникає при пропітці робочого шару інструменту "Аквапол" парафіном. Вода змочує тільки поверхню оброблюваного скла, що відповідає відштовхуванню взаємодіючих поверхонь. У цьому випадку, як і в попередніх, зняття скла значно зменшується.

З умови $F_t > 0$ випливає, що зняття оброблюваного матеріалу буде відмінним від нуля тоді, коли виконується нерівність:

$$K - \frac{\sigma_H(\cos\theta_1 + \cos\theta_2)}{2\eta} > U \quad (6)$$

Крім того, для кожного із розглянутих матеріалів у відповідності з рівнянням зносу (5) була розрахована величина продуктивності I_x полірування Q^P і порівняна з експериментально визначеною $Q^{\text{експ}}$. На рис. 3. наведена залежність $Q^P/Q^{\text{експ}}$ від вмісту (у відсотках) кремнезема в них. Для чистого кремнезема (кварцеве скло, кварц, оніко) і силікатного скла $Q^P/Q^{\text{експ}}$ мало відрізняється від 1 і зменшується при збільшенні в них вмісту кремнезема (крива I). Аналогічна залежність спостерігається для усіх досліджених кремнеземмішучих матеріалів: для бороалантанового скла - крива II, для природного каменю - вона III.

Наведені на рис. 3. дані переконливо підтверджують фізико-хі-

мічну природу процесу полірування вказаних матеріалів інструментом з зв'язаним полірувальним порошком і можливість розповсюдження встановлених для оптичного скла закономірностей на всю гаму SiO_2 -вміщуючих матеріалів.

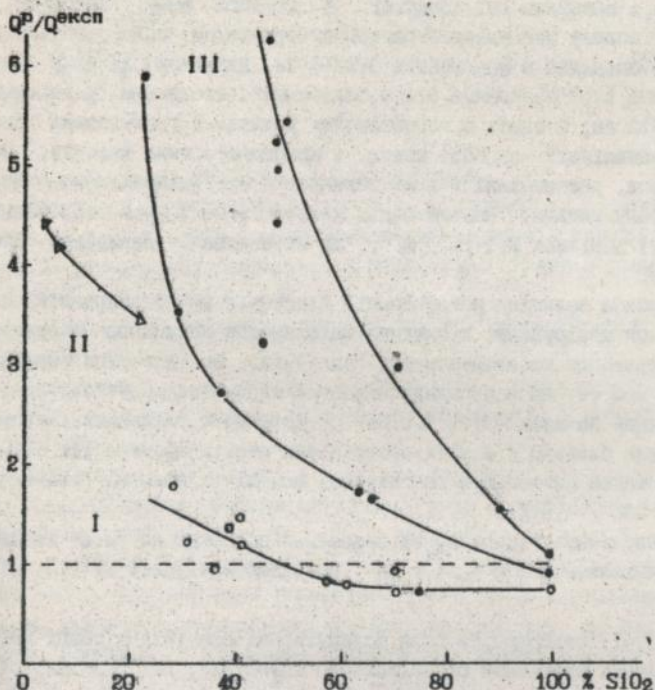


Рис. 3. Залежність $Q^P/Q^{\text{експ}}$ від вмісту кремнезема у оброблюваному матеріалі.

Крім того, можна зауважити, що точність розрахунків продуктивності полірування силікатного скла і матеріалів з вмістом кремнезему більшим 50% - достатня в погляді процесів зносу, через те, що відношення $Q^P/Q^{\text{експ}}$ попадає у діапазон $0,4 \cdot Q^P < Q^{\text{експ}} < 2,6 \cdot Q^P$, запропонований І.В.Крагельським. Для боролантанового скла, у складі якого від 4 до 23 % кремнезема, більш високі здібності результатів розрахунку продуктивності полірування та II експериментального визначення не можна чекати, через те, що у методиці розрахунку початково закладено, що кластери, які відриваються з оброблюваної поверхні, утворені фрагментами SiO_2 .

Четвертий розділ. При дослідженні механізму втомного аносy SiO_2 -вміщувчих матеріалів при поліруванні інструментом з ав'язаним полірувальним порошком використано кластерну модель, завдяки якій розрахована концентрація кластерів ($N_1 - 2 \cdot 10^{17} \text{ м}^{-2}$), що відриваються з оброблюваної поверхні. З другого боку, виходячи з прийнятої моделі про квалитетраедричну структуру окла, згідно з якою воно складено з фрагментів O-Si-O з довжиною ав'язку Si-O $l_1 - 0,1606 \text{ нм}$, поєднаних більш "слабкими" ав'язками з довжиною $l_2 - 0,1612 \text{ нм}$, а також з геометричних уявлень з урахуванням того, що при механічній обробці кварцу і кварцового скла дефекти, які утворюються, розташовані у шарі товщиною 1 нм , підраховано, що у розглянутому випадку концентрація кластерів на поверхні оброблюваної деталі дорівнює $2,1 \cdot 10^{17} \text{ м}^{-2}$, що співпадає з наведеною вище величиною.

Отримана величина концентрації кластерів на оброблюваній поверхні при поліруванні практично співпадає з величиною концентрації деформованих кремнійкисневих ав'язків, що дозволяє зробити висновок про те, що попередником частки аносy (відриву кластера) є деформований ав'язок $=\text{Si} \dots \text{O} \dots \text{Si} =$. Крім того, кількість кластерів складає близько 4 % всіх поверхневих атомів кремнію (до $5 \cdot 10^{18} \text{ м}^{-2}$), що також впливає з розглянутої моделі (1 кластер - 24 атоми кремнію, або - 4,2 %).

В результаті гідролізу та вищолення поверхні на ній виникає гідроксильований шар $\text{O} - \text{Si} - \text{OH}$, розриваються довгі $\text{Si} - \text{O}$

ав'язки (l_2), утворюються пори молекулярних розмірів в товщі матеріалу. Окремі фрагменти оброблюваного матеріалу, які складаються з тетраедрів з гідроксильними групами і без них, з'єднуються з глибинними шарами за допомогою довгих більш "слабких" ав'язків (l_2).

У процесі полірування в результаті деформації поверхні виникають деформовані ав'язки, відстань між атомами кремнію першого тетраедра і кисню другого тетраедра збільшується, ав'язок гетеродітично розривається. У тетраедрах за рахунок переключення ав'язків виникають іонні центри $=\text{Si}^+$ і $=\text{SiO}^-$. Потім розриваються більш "слабкі" ав'язки між другим і третім тетраедрами і т.д. При цьому лінія розриву відділює фрагмент (кластер) від основного матеріалу так, що у першому залишаються тетраедри $\text{O} - \text{Si}^+ - \text{O} \dots$ (іонні

OH

центри $=Si^+$), а у другому - іонні центри $=SiO^-$, згідно з схемою, наведеною на рис. 4.

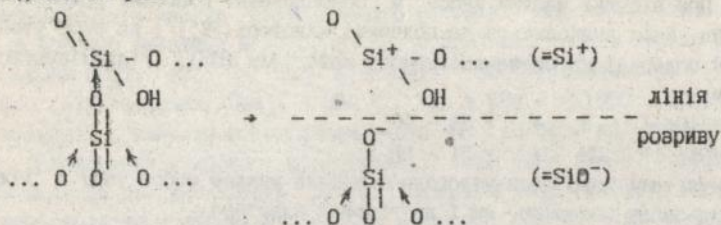


Рис. 4. Схема утворення іонних центрів.

Внаслідок двокстадійного процесу, включаючого гетеродітичний розрив Si - O зв'язків і випромінювання електронів іонними центрами $=SiO^-$ утворюються радикальні центри $=SiO\cdot$ згідно з схемою:

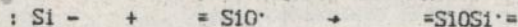


В результаті захвату електрона іон $=Si^+$ перетворюється у радикальний центр $=Si\cdot$.

Таким чином, на поверхні фрагмента утворюються центри $=Si\cdot (E^1)$, а на знов утвореній поверхні обробленої деталі - центри $=SiO\cdot (O^0)$.

При розриві зв'язків і відділенні фрагменту від основного матеріалу обов'язково виникає ситуація, коли є необхідним розрив і більш "слабкого" зв'язку Si \rightarrow O, і подвійного зв'язку Si-O. Тоді поряд з радикальними центрами E^1 і O^0 утворюється силіленовий центр $=Si\cdot$. Порівнювання концентрації кластерів з кількістю силіленових центрів дозволило зробити висновок про те, що результатом відриву кластера є утворення силіленового центру з енергією збудження $E_B = (5,03 - 5,05) \text{ eV} < E_{кл} = 5,29 \text{ eV}$.

Утворені на поверхні дефекти взаємодіють згідно з схемою:



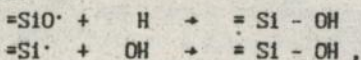
з утворенням центру E^1 , який разом з сусіднім центром O^0 утворює початкову структуру:



В результаті того, що електрон, який випромінюється іоном $=SiO^-$, захоплюється не сусіднім тетраедром (вони просторово розділяються і час життя цих центрів - малий), а наступним, при відриві одного кластера утворюється один електрон, який випромінюється оброблюваною поверхнею у місці виникнення деформованого зв'язку, а всі інші електрони захоплюються іонними центрами - Si^+ , які внаслідок цього перетворюються у центри E^1 на поверхні частки

зносу.

При відриві частки зносу з обробленої поверхні радикальні центри, які знаходяться на поверхні кластера (E^1) і на знов утвореній поверхні кремнеземвміщуючого матеріалу (O^0), гідролізуються водою:



в результаті чого знов утворена поверхня уявляє собою таку ж гідроксильовану поверхню, як і до відриву кластера.

З урахуванням того, що при відриві кластера на поверхні, що утворюється, центрів O^0 буде на 2 більше; ніж центрів E^1 на поверхні кластера, і один з надлишкових O^0 -центрів рекомбінує з E^1 -центром, який виник в результаті окислення центрів після розриву $Si - O$ - зв'язку, зроблено висновок про те, що в результаті відриву одного кластера та загибелі центрів E^1 і O^0 на поверхні утворюється тільки один поверхневий немостикуватий атом кисню O_{1s}^0 . Це означає, що у процесі полірування кремнезему концентрація поверхневих дефектів O_{1s}^0 буде дорівнювати концентрації кластерів ($2 \cdot 10^{17} \text{ м}^{-2}$), що узгоджується з результатами інших дослідників, згідно з якими концентрація O_{1s}^0 має порядок 10^{17} м^{-2} .

Таким чином, виходячи з аналізу процесів розриву хімічних зв'язків, утворення іонних, радикальних і силієнових центрів, їх окислення, гідролізу та рекомбінації, показано, що механізм втомного зносу SiO_2 -вміщуючих матеріалів при поліруванні інструментом з зв'язаним полірувальним порошком включає:

1. Гідроксильовання поверхні оброблюваного матеріалу внаслідок гідролізу та вищолення;
 2. Утворення на поверхні деформованих зв'язків, які є попередниками часток зносу;
 3. Гетеролітичний розрив деформованих зв'язків і утворення радикальних центрів;
 4. Резонансне збільшення енергії кластера за рахунок коливань фрагментів SiO_2 , розрив подвійного зв'язку $Si-O$ і утворення на оброблюваній поверхні силієнового центру $-Si\cdot$;
 5. Відрив кластера (утворення частки зносу) з випромінюванням електрона і стабілізацією на оброблюваній поверхні поверхневого немостикуватого атома кисню;
 6. Окислення силієнового, рекомбінація радикальних центрів та їх гідроліз з утворенням поверхні, ідентичної початковій.
- Для експериментального вивчення дефектів на поверхні скла,

які утворюються в процесі полірування, було досліджено вплив на інтенсивність зняття оброблюваного матеріалу CO_2 -середовища. Цей газ вибрано виходячи з того, що при нормальних умовах тільки радикальний центр $=\text{Si}\cdot$ з ним взаємодіє. По відношенню до $-\text{Si}: 1 = \text{SiO}\cdot$ він інертний. При $T = 300 \text{ K}$ $=\text{Si} + \text{CO}_2 \rightarrow =\text{SiOCO}$, тобто при взаємодії з газовим середовищем центр $=\text{Si}\cdot$ не буде виконувати свого призначення у процесі полірування, якщо таке існує. Результати визначення продуктивності зняття скла при поліруванні у газовому середовищі та у нормальних умовах показували, що їх відхилення не перебільшує похибки експерименту, що свідчить про те, що ці центри у процесі полірування ніякої ролі не відіграють. Цей же висновок зроблено і в порівнянні енергії кластера ($E_{\text{кл}} = 5,29 \text{ eV}$) з енергією збудження цього центру ($5,75 \text{ eV}$), яке свідчить про те, що енергії кластера недостатньо для збудження $=\text{Si}\cdot$.

Для визначення кількості електронів, які випромінюються поверхнею скла при поліруванні, було експериментально виміряно її заряд, по величині якого визначено, що кількість електронів випромінюваних одиницею площі оброблюваної поверхні становить $1,87 \cdot 10^{17} \text{ м}^{-2}$ і відповідає кількості кластерів ($2 \cdot 10^{17} \text{ м}^{-2}$).

Таким чином, наведені експериментальні дані підтвердили, що у реальному процесі полірування скла та інших кремнеземістких матеріалів зняття оброблюваного матеріалу здійснюється у відповідності з описаним вище механізмом.

При дослідженні механізму взаємодії диспергованих у процесі полірування часток зносу оброблюваного матеріалу і інструменту у зоні їх контакту було використано запропоновану кластерну модель і теорію Ван-дер-ваальсових сил Бараша Ю.С. Використавши припущення про те, що оброблюваний матеріал складається тільки з SiO_2 , а інструмент - з CeO_2 , було розраховано енергії взаємодії (притягання) часток SiO_2 (1) і CeO_2 (2) між собою і в поверхніми деталі (о) і інструменту (і) в еВ:

$$U_{11} = -1,25 \cdot 10^{-6}, \quad U_{12} = -1,39 \cdot 10^{-4}, \quad U_{22} = -5,97 \cdot 10^{-3}, \\ U_{1,1} = -1,3 \cdot 10^{-4}, \quad U_{1,c} = -1,85 \cdot 10^{-6}.$$

Виходячи з того, що $U_{12}, U_{22}, U_{1,1} > U_{11}, U_{1,c}$, показаво, що у зоні контакту інструменту і деталі частки SiO_2 і CeO_2 , взаємодіючи між собою, будуть притягатися до поверхні інструменту. Причому біля цієї поверхні буде локалізовано часток діоксиду церія більше, ніж часток кремнезему, оскільки $U_{22} > U_{12}, U_{1,1}$. Співвідношення кількості часток n_1 (SiO_2) і n_2 (CeO_2), які локалізуються біля поверхні інструменту, визначено, виходячи з співвідношення енергій

взаємодії U_{12} , $U_{1,1}$ і U_{22} як розв'язок системи рівнянь:

$$n_1 + n_2 = 1, \quad \frac{n_1}{n_2} = \frac{U_{12} + U_{1,n}}{U_{22}}, \quad (7)$$

і складає: $n_1 = 4\%$, $n_2 = 96\%$. Експериментальні дослідження поверхні полірувального інструменту дозволили установити, що на ній частки зносу знаходяться в кількості: $SiO_2 - (1,7 - 5,3)\%$, $CeO_2 - (94,7 - 98,3)\%$, що співпадає з результатами розрахунків.

Виходячи з результатів попереднього розділу, показано, що кількості часток SiO_2 і CeO_2 (або кількість кластерів $\rho_{кл,1}$ і $\rho_{кл,2}$), які відірвалися від взаємодіючих поверхонь і знаходяться у зоні їх контакту, знаходяться у співвідношенні $\rho_{кл,2}/\rho_{кл,1} \approx 2,28$, яке свідчить про те, що з усіх диспергованих часток приблизно третя частина - частки кремнезему. Якісний аналіз спектрів характеристичного випромінювання продуктів зносу свідчить про те, що дійсно у їх складі є і частки SiO_2 , і частки CeO_2 .

Надлишок часток SiO_2 (приблизно 30% - в загальній кількості і лише 4% взаємодіючих з CeO_2) частково виходить з зони контакту разом з СОТС, а частково - притягається до поверхні інструменту ($U_{1,1}$ відмінна від нуля). При цьому в деяких місцях поверхні інструменту можуть накопичуватися частки кремнезему.

Потенціал взаємодії часток кремнезему з шорсткою поверхнею інструмента оцінено, виходячи з теорії ван-дер-ваальсових сил Бараша Ю.С., з урахуванням ван-дер-ваальсових коефіцієнтів і відстані від нової площини відліку до середнього положення поверхневого шару атомів.

Величина потенціалу взаємодії $U_{1,1}(l) = (0,17 - 3,50)$ еВ, визначена з використанням діапазону всіх можливих значень ван-дер-ваальсових коефіцієнтів, свідчить про те, що частки кремнезему можуть вступати з поверхнею інструменту в зв'язаний полірувальним порошком у хімічний зв'язок, тобто можлива хемосорбція кремнезему поверхнею інструменту ($U_{1,1}(l) > 0,1$ еВ). В результаті полімеризації кремнезему, хемосорбованого поверхнею інструменту, на ній утворюється наліт, який спостерігається експериментально. Фрагменти нальоту розміром декілька міліметрів в товщину 5 - 6 мкм, міцно закріплені на поверхні інструменту, викликають дефектоутворення на оброблюваній поверхні ("ласини"). Хімічний склад фрагментів нальоту за результатами мікрорентгеноспектрального кількісного аналізу

не співпадає з складом оброблюваного скла, а уявляє собою чистий кремнезем (SiO_2).

При поліруванні скла водною суспензією полірувального порошка на основі CeO_2 ситуація зовсім інша. У зв'язку з тим, що поверхня інструменту (пеко-каніфольної смоли) взаємодіє з частками кремнезему значно слабше, ніж поверхня інструменту на основі CeO_2 з зв'язаним полірувальним порошком (більша різниця між ω_{01} і ω_{02} і менша величина константи Ліфшиця), можна вважати, що частки SiO_2 взаємодіють з частками CeO_2 ($U_{12} = 1,38 \cdot 10^{-4}$ еВ) і з поверхнею оброблюваного скла ($U_{1,c} = 1,85 \cdot 10^{-5}$ еВ). При цьому спостерігається адсорбція часток кремнезему на частках діоксиду церія ($U_{1,2} > U_{1,c}$), а надлишок часток SiO_2 збирається біля шорсткої поверхні оброблюваного скла ($U_{1,c} > 0$), на якій відбувається повторна полімеризація кремнезему. Отриманий результат співпадає з даними роботи Вгоуп N.J., в якій це доведено експериментально за допомогою фазометричного інтерферометра Віко.

Таким чином, на основі теоретичного аналізу та експериментальних досліджень взаємодії часток SiO_2 і CeO_2 у зоні контакту інструменту і оброблюваної деталі при поліруванні показано, що на поверхні інструменту в зв'язаним полірувальним порошком локалізуються групи часток кремнезему і діоксиду церія, зв'язані за рахунок фізичної адсорбції, і утворюється наліт полімеризованого кремнезему за рахунок хемосорбції.

П'ятий розділ. В даному розділі наведені результати досліджень механізму прецизійного формування оптичних поверхонь. Механізм утворення мікропрофіля оброблюваної поверхні досліджено на основі розглянутої вище кластерної моделі. Виходячи з припущення про те, що енергія кластера повністю використовується на утворення нової поверхні, показано, що частки зносу оброблюваного матеріалу мають площі поверхні S_k , кратні мінімальній S_0 , а висота мікронерівностей поверхні $Z(x)$ визначається формулою:

$$Z(x) = \frac{d_0}{2} \varphi_0^2 (2x/d_0) + \frac{\varphi_0^2 (1)}{2} \sum_{k \geq 1} d_k \left[\frac{\varphi_k [2(x-x_k^*)/d_k]}{\varphi_k [(2k+1)^{1/2}]} \right]^2, \quad (8)$$

де d_k - діаметр частки зносу, x - координата, φ_k - функції параболічного циліндру.

Мікропрофіль обробленої поверхні з скла, побудований за допомогою наведеної формули на основі експериментальних результатів

вимірів розмірів часток зносу ($d_0 - 1,25$ мкм, $d_1 - 1,75$ мкм, $d_2 - 2,15$ мкм і т.д.) має вигляд, близький до реального (рис. 5).

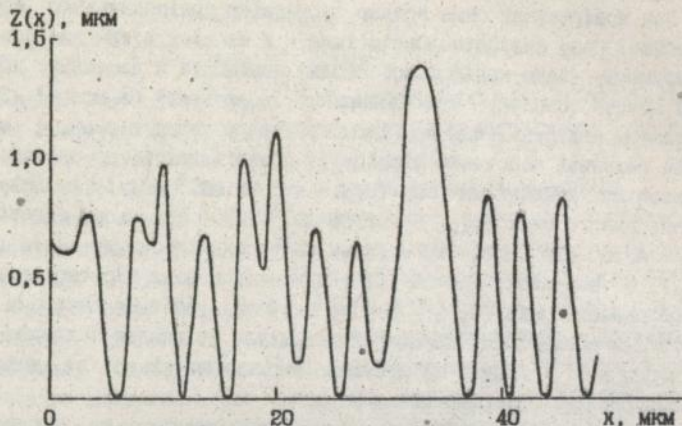


Рис. 5. Висота мікронерівностей поверхні

Скориставшись величиною a_v - найімовірнішого розміру часток зносу, запропонованою Деснеком Л.С., і виходячи з припущення про те, що імовірність їх відриву від оброблюваної поверхні описується функцією $|\Phi_0|^2$, для наведених даних ($a_v - 5,6$ мкм) визначено параметри мікропрофіля обробленої поверхні: найбільша висота нерівностей профіля $R_{max} - 0,29a_v$, середньо-арифметичне відхилення профілю $R_a - 0,04a_v$ і їх співвідношення $R_{max}/R_a - 7,25$.

Порівняння розрахованих величин з дослідними даними показало, що при обробці скла розраховані параметри практично співпадають з даними профілографічних вимірів. $R_{max} : 1,61$ мкм і $(1,63 - 1,66)$ мкм, $R_a : 0,22$ мкм і $(0,25 - 0,28)$ мкм. Експериментально визначена величина їх відношення при обробці скла інструментом з алмазів АСН 40/28, 20/14 і 10/7 складала відповідно 8,5; 7,2 і 7,3; що також підтверджує результати розрахунків.

На основі більш поглибленого розгляду запропонованого методу розрахунку висоти мікронерівностей оброблюваної поверхні, в якому використано довільний вибір послідовності k_i (номерів виборок), виходячи з розподілу часток зносу за розмірами, виведено загальне рівняння для розрахунку $Z(x)$:

$$Z(x) = \frac{d_{k,0}}{2} \cdot \Phi^2_{k,0}(2x/d_{k,0}) +$$

$$+ \frac{1}{2} \sum_{i=1}^{\infty} C_{k,i}^2 d_{k,i} [\varphi_{k,i} \left[\frac{2}{d_{k,i}} \left(x - \frac{x_{k,i} + x_{k,i-1}}{2} \right) \right]^2] \quad (9)$$

в якому довільні сталі $C_{k,i}$ визначаються формулою:

$$C_{k,i}^2 = \frac{d_{k,i}}{d_{k,0}} \left[\frac{\varphi_{k,0} [(2k_0 + 1)^{1/2}]}{\varphi_{k,i} [(2k_i + 1)^{1/2}]} \right] \quad (10)$$

На основі цього рівняння з використанням методу Монте-Карло, запропоновано метод комп'ютерного моделювання профілограми обробленої поверхні. Метод перевірено при порівнянні змодельованої і реальної профілограм шліфованої поверхні скла. Похибка розрахунку параметрів шорсткості по вказаним профілограмам по R_a і по R_{\max} не перевищувала 10%. Хороша збіжність експериментальних і теоретичних даних зумовила можливість моделювання полірованої поверхні скла. При комп'ютерному моделюванні були використані дані С. Мінаржа, згідно з якими $d_0 = 10$ нм, і розраховані величини $d_{k,i} = (k_i + 1)d_0$ і параметру розподілу Пуассона $\xi = 0,7$. Розрахована профілограма дозволила визначити, що висота окремих мікронерівностей полірованої поверхні скла складає величину від 2 до 8 нм, $R_a = 1,2$ нм і $R_{\max} = 8,7$ нм.

Оцінка наведених даних дозволила стверджувати, що вони відповідають результатам спостережень мікронерівностей полірованих поверхонь скла за допомогою електронного мікроскопу (Брюке і Поппа - 1 нм), при фотографуванні по методу фазового контрасту (Трайман - частки нм), методом відбивання рентгенівських променів (Еренберг - біля 1 нм), за допомогою смуг Фізо (Хівенс - 1 - 4 нм), методом багатопроменевої інтерферометрії (Таланські - 2 нм, Кейдер - 4 - 8 нм).

Механізм прецизійного формоутворення оптичних поверхонь досліджено на основі рівняння зносу, обґрунтування якого наведено у розділі 3. З урахуванням того, що інтенсивність зносу полірувального інструменту V залежить від довжини шляху тертя елементарної ділянки його робочої поверхні по оброблюваній поверхні деталі $L(r)$, для V використано вираз:

$$V(r) = k \rho_a(r) \cdot \frac{U(r)}{U(r) + U_0} \cdot L(r) \quad (11)$$

де k - коефіцієнт, r - радіус-вектор кільцевих зон інструменту.

На основі проведених розрахунків і експериментальних дослід-

лень встановлено, що для забезпечення високої точності формування оптичних поверхонь (N - 3 - 5 інтерференційних кілець) необхідно використовувати конструкцію робочого шару полірувального інструменту і настройку верстата у відповідності з формулами, зв'язаними коефіцієнт заповнення поверхні інструменту $k_1(r)$ з кінематичними параметрами e_0 , e_n і L - несиметрії, зміщення і довжини штриха:

Формування плоских поверхонь:

1. Інструмент - верхня ланка:

$$k_1(r) = [E(e_0/r)]^{-1}, \quad (12)$$

де E - повний еліптичний інтеграл 2-го роду;

2. Інструмент - нижня ланка:

$$k_1(r) = \frac{4 \cdot \Phi_k(r + e_0)}{\text{Бл}F(\Phi_k, k)}, \quad (13)$$

де $F(\Phi_k, k)$ - неповний еліптичний інтеграл 1-го роду,

$$\Phi_k = \begin{cases} \pi, & r < R_1 - e_0; \\ \arccos\left[\frac{r^2 + e_0^2 - R_1^2}{2re_0}\right], & R_1 - e_0 < r < R_1 + e_0; \\ 0, & r > R_1 + e_0; \end{cases} \quad (14)$$

$k = 2(e_0)^{1/2}/(r + e_0)$ - модуль.

R_1 - радіус оброблюваної деталі.

Формування сферичних поверхонь:

$$k_1(r) = \frac{D \cdot \arcsin(r/D)}{2r \cdot \arcsin(D/2R)}, \quad (15)$$

де D - діаметр інструменту, R - радіус кривизни оброблюваної поверхні.

Формування циліндричних поверхонь:

$$k_1(z) = \frac{K(k)}{(R^2 + z^2)^{1/2}} \left[\frac{L_1}{L_2} - 1 + \ln \frac{L_2}{L} \right] \cdot n(z), \quad (16)$$

де z - координата, R - радіус циліндричної поверхні, L_1 і L_2 - довжини оброблюваної деталі і інструменту, $K(k)$ - повний еліптичний інтеграл 1-го роду, $k = R \cdot (R^2 + z^2)^{-1/2}$ - модуль інтегралу,

$$n(z) = \begin{cases} 1, & z < L_2/2 \\ 0, & z > L_2/2. \end{cases}$$

Крім того, виведено рівняння для розрахунків коефіцієнту заповнення поверхні полірувального інструменту і кінематичних параметрів процесу полірування спеціально для найбільш поширених у оптичному виробництві верстатів типу ШІ.

Шостий розділ. Розроблено інструмент для підготовки поверхонь деталей з кременеземвміщуючих матеріалів під полірування (тонкого алмазного шліфування, доведення і попереднього полірування), а також способи його виготовлення.

На основі теоретичних і експериментальних результатів, наведених вище, запропоновано критерії вибору полірувального порошку (по величині частоти власних коливань ω_{02}) і зв'язуючого (по величині в'язуної в'язкості), оптимізовано по продуктивності полірування і зносу інструменту складі полірувальних композицій, на основі яких розроблено полірувальний інструмент з зв'язаним полірувальним порошком оксидів рідкісноземельних металів з товарним знаком "Аквапол". Розроблено конструкції робочого шару полірувального інструменту "Аквапол" для обробки плоских, сферичних і циліндричних поверхонь, забезпечуючих високу і стабільну у часі точність їх формоутворення (N - 3 - 5 інтерференційних кілець), а також способи його виготовлення.

На основі результатів лабораторних і виробничих випробувань інструменту "Аквапол", проведених у ІМН НАН України, НВО "Оптика" (м. Москва), Феодосійському оптичному заводі, Красногорському механічному заводі, ВО "Рубін" (м. Литкаріно), ВО "Завод Арсенал" (м. Київ), заводі "Електронмаш" (м. Мінськ), Ізюмському оптико-механічному заводі, "Carl Zeiss Jena" (Німеччина), "Meopta" (Чехія і Словачія), "СOM" (США) та ін. встановлено, що продуктивність полірування ним сягає 0,4 мкм/хв, відносний знос - 1 - 12, при точності N - 3 - 5 інтерференційних кілець, шорсткості R_z - 0,05 мкм і оптичній чистоті PIII - PIV оброблених поверхонь. Крім того, порівняльні випробування інструментів "Аквапол" і "Malt.X" (Італія), "Serpet" (Японія), 6E і 7E (США), проведені в "СOM", показали, що по величині відхилення форми оброблюваної поверхні "Аквапол" знаходиться на рівні, а по шорсткості - перевершує вказані інструменти. В порівнянні з традиційним процесом полірування оптичних деталей за допомогою полірувальних суспензій використання інструменту "Аквапол" забезпечує зниження трудомісткості полірування на 30%, збільшення розмірної стійкості інструменту в 150 разів, зменшення витрат полірувальних порошків не менше, як у 10 разів. При цьому

виключається операція правки форми робочої поверхні інструменту, поліпшуються умови праці працюючих і створюються умови для автоматизації процесу полірування.

Розроблено технологічний регламент нового процесу прецизійного формоутворення оптичних поверхонь при поліруванні інструментом "Аквапол", згідно з яким здійснюється вибір конструкції полірувального інструменту і настройки верстата по кінематичним і режимним параметрам для обробки оптичних деталей високої і середньої точності, а також методику і пакет програм для їх розрахунку.

ОСНОВНІ ВИСНОВКИ ТА РЕЗУЛЬТАТИ РОБОТИ.

У результаті проведених досліджень вирішено велику наукову проблему, яка полягає в створенні нової концепції формоутворення поверхонь деталей з кремнеземвміщуючих матеріалів і розробці на її основі нових інструментів і технологічних процесів їх фінішної обробки, що має важливе народногосподарське значення.

Основні наукові та практичні результати.

1. Уперше запропонована кластерна модель зносу поверхонь оброблюваної деталі і інструменту в зв'язаним полірувальним порошком, яка дозволила обґрунтувати нову концепцію прецизійного полірування поверхонь деталей з кремнеземвміщуючих матеріалів.

2. Виведено аналітично рівняння зносу, яке дозволяє розраховувати продуктивність зняття оброблюваного матеріалу та інтенсивність зносу інструменту в залежності від технологічних параметрів процесу полірування, конструктивних параметрів інструменту та деталі, фізико-хімічних властивостей оброблюваного матеріалу та інструменту, гідростатичних та гідродинамічних характеристик технологічного середовища і спектроскопічних характеристик контактуючих тіл. Експериментально показана відповідність результатів розрахунків і дослідних даних.

3. На основі кластерної моделі зносу розроблено метод уточненого розрахунку висотних параметрів шорсткості обробленої поверхні, виходячи з розмірів часток диспергованого матеріалу. Одержані при комп'ютерному моделюванні профілограми оброблених поверхонь добре узгоджуються з експериментальними даними.

4. Виявлено зв'язок між продуктивністю зняття оброблюваного матеріалу та його хімічним складом і відносною діелектричною проникністю.

5. Вивчено механізм втомного зносу кремнеземвміщуючих матері-

алів при поліруванні інструментом в зв'язаним полірувальним порошком, який виключає повне гідроксилювання оброблюваної поверхні за рахунок гідролізу та вищолення; утворення на ній деформованих зв'язків, які являють собою зародки часток вносу; гетеролітичний розрив деформованих зв'язків та утворення радикальних центрів; резонансне зростання енергії кластера, розрив подвійного зв'язку Si-O в утворенні на поверхні силіленового центру; відрив кластера в випромінюванні електрону та утворенні на ній поверхневого немостикового атому кисню; окиснення силіленового центру; рекомбінацію радикальних центрів та їх гідроліз в утворенні поверхні, яка ідентична початковій.

6. Установлено, що при взаємодії часток SiO₂ і CeO₂, які утворились у процесі полірування в зоні контакту оброблюваної деталі і інструменту, на поверхні інструменту вони локалізуються за рахунок фізичної адсорбції і утворюються наліт полімеризованого кремнезему за рахунок хемосорбції.

7. Розроблено метод розрахунку конструктивних параметрів інструменту та кінематичних параметрів настройки верстату, які забезпечують при поліруванні плоских і сферичних поверхонь точність їх геометричної форми у межах N - 3 - 5 інтерференційних кілець.

8. Розроблено нові інструменти для підготовки поверхонь під полірування та способи їх виготовлення;

9. Розроблено новий інструмент "Аквапол" в зв'язаним полірувальним порошком та технологію його виготовлення;

10. Уперше розроблені методика і програми розрахунку на ПЕОМ конструкції робочого шару полірувального інструменту і параметрів настройки верстату, які забезпечують необхідну точність формування поверхонь;

11. На основі результатів досліджень розроблено технологічний регламент нового процесу прецизійного формування оптичних поверхонь при поліруванні інструментом "Аквапол", використання якого забезпечує зниження трудомісткості полірування на 30%, збільшення розмірної стійкості полірувального інструменту в 150 разів, зменшення витрат полірувальних порошоків у 10 разів, дозволяє докорінно покращити культуру виробництва та умови праці працюючих за рахунок виключення з процесу полірувальних порошоків у вільному стані і створити умови для автоматизації процесу обробки деталей.

12. Наукові та практичні результати впроваджені на 11 підприємствах оптико-механічної та електронної промисловості з загальним річним економічним ефектом біля 1230 тис. крб. у цінах 1990 року.

Основні результати роботи подано у таких публікаціях:

1. Тепловые явления при алмазном полировании ювелирных граничных камней / В.В.Рогов, Ю.Д.Филатов, В.Р.Карпузов и др. // Синтетические алмазы.- 1978.- вып. 3.- С. 49-53.

2. Филатов Ю.Д., Рогов В.В., Бурман Л.Л. Влияние конструкции инструмента на его работоспособность при плоском шлифовании стекла // Там же.- 1979.- вып. 3.- С. 26-32.

3. А.с. 688323 СССР, МКИ В 24 D 1/00. Торцевой шлифовальный круг/ Ю.Д.Филатов, В.В.Рогов, Л.Л.Бурман.- Оpubл. 30.09.79, Бюл. N 36.

4. Энергетическая оценка работоспособности алмазного инструмента при шлифовании стекла / А.П.Денисенко, Ю.Д.Филатов, В.В.Рогов, Н.Д.Рублев // Сверхтвердые материалы.- 1981.- N3.- С. 62-65.

5. А.с. 1013754 СССР, МКИ G 01 B 11/26. Способ контроля оптических деталей / Ю.Д.Филатов, В.В.Рогов, А.И.Шарапа.- Оpubл. 23.04.83, Бюл. N 15.

6. Сравнительные испытания инструментов различных характеристик для тонкого шлифования оптических деталей из стекла / В.В.Рогов, Ю.Д.Филатов, Л.Л.Бурман и др. // Алмазы и сверхтвердые материалы.- 1983.- вып. 1.- С. 8-9.

7. А.с. 1077764 СССР, МКИ В 24 В 13/00. Способ обработки оптических деталей / Ю.Д.Филатов, В.В.Рогов, Л.Л.Бурман и др.- Оpubл. 07.03.84, Бюл. N 9.

8. Филатов Ю.Д. Исследование точности формообразования плоских поверхностей оптических деталей при финишной алмазной обработке // Сверхтвердые материалы.- 1985.- N2.- С. 61-66.

9. Рогов В.В., Филатов Ю.Д., Бурман Л.Л. Исследование процесса формообразования поверхностей оптических деталей из стекла при тонком алмазном шлифовании // Оптико-механическая промышленность.- 1983.- N2.- С. 37-40.

10. Пути повышения точности формообразования оптических поверхностей / В.В.Рогов, Ю.Д.Филатов, В.С.Чередник, Л.М.Друченко // Сверхтвердые материалы.- 1985.- N3.- С. 64-66.

11. Рогов В.В., Филатов Ю.Д., Бурман Л.Л. Износ алмазного инструмента при финишной обработке оптических деталей из стекла // Трение и износ.- 1985.- T.6.- N1.- С. 48-54.

12. А.с. 1187971 СССР, МКИ В 24 D 18/00. Способ изготовления рабочего слоя абразивного инструмента / Л.Л.Бурман, С.М.Уман, Ю.Д.Филатов, Г.Ф.Невструев.- Оpubл. 30.10.85, Бюл. N 40.

13. Бурман Л.Л., Филатов Ю.Д. Разработка управляемого процесса приготовления шихты абразивного инструмента // Сверхтвердые материалы.- 1986.- №1.- С. 28-33.

14. А.с. 1234177 СССР, МКИ В 24 D 18/00. Способ изготовления рабочего слоя абразивного инструмента / Л.Л.Бурман, Ю.Д.Филатов. Опубл. 30.05.86, Бюл. N 20.

15. А.с. 1237387 СССР, МКИ В 24 В 7/00 // В 24 В 13/00. Способ обработки плоских поверхностей оптических деталей / Ю.Д.Филатов, В.В.Рогов, Л.Л.Бурман и др. - Опубл. 15.06.86, Бюл. N 22.

16. А.с. 1263513 СССР, МКИ В 24 D 3/34. Масса для изготовления полировального инструмента / А.П.Денисенко, В.В.Рогов, В.В.Гужов, Ю.Д.Филатов и др. - Опубл. 15.10.86, Бюл. N 38.

17. Оценка эффективности и совершенствование методов приготовления шихты для алмазно-абразивного инструмента / Л.Л.Бурман, Ю.Д.Филатов, В.В.Рогов и др. // Сверхтвердые материалы.- 1986.- №6.- С. 40-44.

18. А.с. 1430237 СССР, МКИ В 24 В 13/00. Способ обработки торца звукопровода ультразвуковой линии задержки / В.В.Рогов, Ю.Д.Филатов, Н.Д.Рублев и др. - Опубл. 09.10.89, Бюл. N 38.

19. Оценка работоспособности алмазного инструмента для обработки звукопроводов с учетом относительной диэлектрической проницаемости его режущего слоя / Ю.Д.Филатов, В.В.Рогов, Н.Д.Рублев, И.В.Дракин // Сверхтвердые материалы.- 1988.- №6.- С. 27-28.

20. Работоспособность инструментов со связанным абразивом при полировании стекла / В.В.Рогов, Ю.Д.Филатов, А.П.Денисенко и др. // Оптико-механическая промышленность.- 1989.- N 1.- С.35- 37.

21. Филатов Ю.Д., Бурман Л.Л., Рогов В.В. Закономерности распределения диспергируемых частиц стекла по размерам // Сверхтвердые материалы.- 1989.- №2.- С. 53-55.

22. А.с. 1502067 СССР, МКИ В 01 F 3/18. Способ приготовления смеси / Ю.Д.Филатов, Л.Л.Бурман.- Опубл. 23.08.89, Бюл. N 31.

23. А.с. 1514593 СССР, МКИ В 24 D 5/00. Торцевой шлифовальный круг / Л.Л.Бурман, Ю.Д.Филатов, Е.Б.Верник и др. - Опубл. 15.10.89, Бюл. N 38.

24. Точность формообразования сферических поверхностей линз при полировании инструментом со связанным абразивом / Ю.Д.Филатов, В.В.Рогов, Н.Д.Рублев и др. // Оптико-механическая промышленность.- 1990.- N 1.- С. 54 - 56.

25. А.с. 1579762 СССР, МКИ В 24 D 3/28. Абразивная масса полировального инструмента / Ю.Д.Филатов, В.В.Рогов, Н.Д.Рублев и

др. - Оpubл. 23.07.90, Бюл. N 27.

26. Полирование линз серийного производства инструментом со связанным абразивом / С.Д.Тausнев, В.Д.Сажно, В.В.Рогов, Ю.Д.Филатов и др. // Оптико-механическая промышленность. - 1990. - N 3. - С. 68 - 69.

27. Свидетельство N 88333 на товарный знак. Полировальный инструмент "Аквaпол". - приоритет 22.05.89. - зарегистрирован 19.03.90.

28. Прецизионное формообразование поверхностей деталей ИК техники и точной оптики из неметаллических материалов с использованием алмазного микроточения и полирования инструментом "Аквaпол" / В.В.Рогов, Л.Л.Бурман, Ю.Д.Филатов, В.И.Сидорко // Вопросы оборонной техники. - Сер. 17. - Наука - производству. - 1990. - Вып. 1(29). - С. 20 - 22.

29. Narzedzie "Akwapol" do precyzyjnego polerowania szkla optycznego / W.W.Rogow, Ju.D.Filatow, N.D.Rublew, I.W.Drakin, M.N.Prichno. - IV Miedzynarodowa Konferencja "Obrobka materialow niemetalowych": Rzeszow, maj, 1990. - С. 199 - 202.

30. Presnost tvarovani sferickych povrchu optickch soucasti lestickiv: nastrojem "Akwapol" / J.D.Filatov, V.V.Rogov, N.D.Rublev, I.V.Drakin, V.M.Altzuller, V.P.Korovkin, M.Vychodil // Jemna mehanika a optika. - 1990. - N 5. - S. 133 - 135.

31. А.с. 1604589 СССР, МКИ В 24 D 3/34, 17/00. Способ изготовления абразивного инструмента / Ю.Д.Филатов, В.В.Рогов, Н.Д.Рублев и др. - Оpubл. 07.11.90, Бюл. N 41.

32. А.с. 1625874 СССР, МКИ БВ 24 D 3/06. Масса для алмазно-абразивного инструмента / Ю.Д.Филатов, В.В.Рогов, Н.Д.Рублев и др. - Оpubл. 07.02.91, Бюл. N 5.

33. Выбор компонентов связки инструмента для обработки оптического стекла / Ю.Д.Филатов, В.В.Рогов, Н.Д.Рублев и др. // Оптико-механическая промышленность. - 1991. - N 1. - С. 66 - 67.

34. А.с. 1646825 СССР, МКИ В 24 D 7/00. Торцовый шлифовальный инструмент / Ю.Д.Филатов, В.В.Рогов, Н.Д.Рублев и др. - Оpubл. 07.05.91, Бюл. N 17.

35. А.с. 1657360 СССР, МКИ В 24 D 17/00. Полировальный инструмент для обработки сферических поверхностей / Ю.Д.Филатов, В.В.Рогов, Н.Д.Рублев, И.В.Дракин. - Оpubл. 23.06.91, Бюл. N 23.

36. А.с. 1662823 СССР, МКИ В 24 D 3/28. Способ изготовления полировального инструмента / Ю.Д.Филатов, В.В.Рогов, Н.Д.Рублев и др. - Оpubл. 15.07.91, Бюл. N 26.

37. Точность формообразования поверхностей плоских оптических деталей инструментом "Аквапол" / Ю.Д.Филатов, В.В.Рогов, Н.Д.Рублев и др. // Сверхтвердые материалы.- 1991.- N 3.- С. 54 - 58.

38. Филатов Ю.Д. Обеспечение точности формообразования плоских поверхностей оптических деталей при обработке методом притира // Там же.- 1991.- N 4.- С. 62 - 66.

39. Филатов Ю.Д. Определение оптимальной формы инструмента при полировании плоских оптических поверхностей // Трение и износ.- 1991.- Т. 12.- N 3.- С. 452 - 459.

40. Филатов Ю.Д. Механизм образования микрорельефа поверхности при обработке стекла // Сверхтвердые материалы.- 1991.- N5.- С. 61-65.

41. А.с. 1705053 СССР, МКИ В 24 D 3/28. Способ изготовления полировального инструмента / Ю.Д.Филатов, В.В.Рогов, Н.Д.Рублев и др.- Опубл. 15.01.92, Бюл. N 27.

42. А.с. 1717326 СССР, МКИ В 24 D 7/00. Полировальный инструмент / Ю.Д.Филатов, В.В.Рогов, Н.Д.Рублев и др.- Опубл.07.03.92, Бюл. N 9.

43. А.с. 1796416 СССР, МКИ В 24 В 11/10. Способ полирования сферических поверхностей / Ю.Д.Филатов, В.В.Рогов, Н.Д.Рублев и др.- Опубл. 23.02.93, Бюл. N 7.

44. Заявка на изобретение Украины В-3402503/4 от 13.04.93. Масса для изготовления алмазного инструмента / В.В.Рогов, Ю.Д.Филатов, М.Н.Прихно и др.

45. Филатов Ю.Д., Рогов В.В. Новое в исследовании процесса полирования стекла инструментом со связанным полировальным порошком на основе диоксида церия.- Киев.- 1993.- 32 с.- (Препр. / АН Украины. ИСМ им. В.Н.Вакула).

46. Филатов Ю.Д., Рогов В.В., Громов К.С. Шероховатость поверхности при обработке стекла // Сверхтвердые материалы.-1993.- N 4.- С. 42 - 46.

47. Филатов Ю.Д., Рогов В.В., Цегельник В.В. Характер износа полировального инструмента при формообразовании плоских и сферических поверхностей оптических деталей // Там же.- 1993.- N 5.- С. 40 - 45.

48. Филатов Ю.Д., Рогов В.В. Особенности процесса полирования стекла инструментом со связанным полировальным порошком //Оптика и спектроскопия.- 1993.- Т. 74.- вып. 6.- С.1229 - 1236.

49. Филатов Ю.Д., Рогов В.В. Износ полировального инструмента "Аквапол" при полировании оптического стекла // Сверхтвердые мате-

риальн. - 1993. - №. - С. 59 - 62.

50. Филатов Ю.Д., Рогов В.В. Определение оптимальной формы инструмента для полирования цилиндрических поверхностей // Там же. - 1994. - № 2. - С. 47 - 51.

51. Рогов В., Филатов Ю. Новый инструмент для полирования кремнеземосодержащих материалов // Інформатизація та нові технології. - 1994. - № 3. - С. 41.

52. Филатов Ю.Д., Рогов В.В. Кластерная модель механизма усталостного износа SiO_2 -содержащих материалов при их полировании инструментом со связанным полировальным порошком на основе диоксида церия. - Ч.1 //Сверхтвердые материалы. - 1994. - №3. - С. 40 - 43.

53. Филатов Ю.Д., Рогов В.В. Кластерная модель механизма усталостного износа SiO_2 -содержащих материалов при их полировании инструментом со связанным полировальным порошком на основе диоксида церия. - Ч.2 // Там же. - 1994. - № 4. - С. 48 - 52.

54. Рогов В.В., Филатов Ю.Д. Обработка очковых линз с применением полировального инструмента "Аквапол" // Мир инструмента. - 1995. - № 4. - С. 23 - 24.

Филатов Ю.Д. Научные основы прецизионного полирования поверхностей деталей из кремнеземосодержащих материалов. Диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 05.03.01. - Процессы механической обработки, станки и инструменты, Ин-т сверхтвердых материалов НАН Украины, Киев, 1996.

Вещаются научные положения и результаты исследований физико-химических закономерностей процессов формирования прецизионных поверхностей деталей из кремнеземосодержащих материалов при полировании инструментом со связанным полировальным порошком. Разработана новая концепция механизма процесса полирования кремнеземосодержащих материалов, предложены методы расчета интенсивности износа поверхностей инструмента и детали, микро- и макрогеометрии обработанных поверхностей; сформулированы критерии выбора полировальных порошков и материалов связующего инструмента, определены оптимальные условия точного формообразования обрабатываемых поверхностей и конструкции рабочего слоя инструмента.

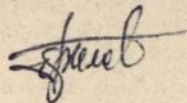
Разработаны новые составы и конструкции полировального инструмента "Аквапол" и технологии его изготовления и применения для обработки плоских, сферических и цилиндрических прецизионных поверхностей оптических деталей. Разработанные инструменты и технологические процессы внедрены в производство.

Filatov Ju.D. Scientific fundamentals of precision polishing of surfaces of parts from silica-containing materials. Dissertation for a doctor's degree on speciality 05.03.01 - Processes of mechanical processing, machines and tools. Institute for Superhard Materials of the National Academy of Sciences of Ukraine, Kiev, 1996.

Scientific statements and results of the investigation of physico-chemical processes of forming precision surfaces of parts from silica-containing materials when polishing with tool with bonded polishing powder are presented. A new concept of mechanism of polishing silica-containing materials was developed, methods for calculation of wear rate of the tool and part surfaces, micro- and macrogeometries of machined surfaces were offered, criteria of choosing polishing powders and binder materials were formulated, the optimum conditions for precise forming of surfaces being machined, and tool working layer designs were found.

New compositions and designs of polishing "Aquapol" tool as well as technologies of its manufacturing and application for machining flat, spherical and cylindrical precise surfaces of optical articles were developed. The tools and technological processes developed were introduced into production.

Ключові слова: кремнеземвміщуючі матеріали, полірування, формування поверхонь, точність, шорсткість і чистота поверхонь, зняття оброблюваного матеріалу, знос інструменту.



Підп. до друку 12.05.96. Формат 60x90/16. Папір пис. № 1.
Друк офс. Ум. друк. арк. 2,0. Ум. ф-відб. 2,0. Обл.-вид. арк. 1,8.
Тираж 100 екз. Зам. № 250. Безплатно.

Інститут надтвердких матеріалів НАН України
254074, Київ-74, вул. Автозаводська, 2

Ротапринт ІІМ НАН України

1.36078

AB 35.038