

УДК 621.923

В. И. Сидорко, канд. техн. наук; **А. Ю. Филатов**, инженер

*Научно-технологический алмазный концерн «Алкон» НАН Украины,
г. Киев, Украина*

СОСТОЯНИЕ ПОЛИРОВАННЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ ИЗДЕЛИЙ ИЗ ПРИРОДНОГО И СИНТЕТИЧЕСКОГО КАМНЯ

Researches on microrelief and microprofile of processed surface showed that roughness of the surface in studied zone depends on distance of the zone from the centre of processed surface while roughness average periodically changes. The optical constants periodically change during processing. Dependences of indexes of absorption and reflection can be approximated by periodical functions.

Введение

В настоящее время большинство деталей электронной техники и оптических систем из оптического стекла, керамики, кристаллов, деталей стройиндустрии и декоративно-художественных изделий из природного и синтетического камня (габбро, гранит, мрамор, поделочные камни) изготавливается методами алмазно-абразивной обработки [1–3]. Современные технологии обработки указанных деталей предусматривают контроль качества обработанных поверхностей с применением комплексной методики, включающей экспериментально-аналитическое определение параметров их шероховатости, отражательной способности, идиохроматичности окраски и оптических постоянных [4]. Состояние поверхностей прецизионных деталей из прозрачных неметаллических материалов в процессе полирования оценивается с использованием *in situ*-метода лазерной эллипсометрии [5, 6], а обработанных поверхностей – с использованием метода атомно-силовой микроскопии (АСМ) [7].

Состояние обрабатываемой поверхности в процессе полирования

Для проведения исследований были использованы образцы из прозрачного диэлектрика (оптического стекла, природного кварца) диаметром 60 мм. Перед полированием образцы обрабатывались на операциях тонкого и супертонкого шлифования инструментами из алмазных шлиф- и микропорошков зернистостью 80/63, 40/28, 20/14, 10/7, 7/5. Для полирования использовались инструменты на основе композита «Аквапол» [2] из полировальных порошков на основе CeO_2 .

Эллипсометрические *in situ* исследования поверхностного слоя образцов из указанных материалов в процессе их полирования [4, 5] осуществлялись с помощью макета шлифовально-полировального устройства, оснащенного лазерным эллипсометром ЛЭФ-3М. В процессе полирования образца контролировались эллипсометрические параметры – разность фаз колебаний взаимно перпендикулярных компонент электрического вектора Δ и соотношение амплитуд этих компонент Ψ поляризованного света (при значении угла падения луча на поверхность образца $\varphi = 70^\circ$, длина волны света $\lambda = 632,8$ нм), по которым рассчитывались значения оптических постоянных.

Зависимости оптических постоянных (показателя поглощения $k(t)$ и коэффициента отражения $R(t)$) от времени полирования являются периодическими функциями (T – период):

$$k(t) = \begin{cases} k(0) \cdot \sin\left[\frac{2 \cdot \pi}{T} \cdot t - 2 \cdot \Delta_2(0)\right] + 0,2; & 0 \leq t < 20 \\ k(30) \cdot \sin\left[\frac{2 \cdot \pi}{T} \cdot t - 2 \cdot \Delta_2(30)\right] + 0,5; & 30 \leq t < 75 \\ k(80) \cdot \sin\left[\frac{2 \cdot \pi}{T} \cdot t - 2 \cdot \Delta_2(70)\right] + 0,4; & t \geq 75 \end{cases}$$

$$R(t) = \begin{cases} R(0) \cdot \sin\left[\frac{2 \cdot \pi}{T} \cdot t - 2 \cdot \Delta_2(0)\right] + 0,02; & 0 \leq t < 20 \\ R(30) \cdot \sin\left[\frac{2 \cdot \pi}{T} \cdot t - 2 \cdot \Delta_2(30)\right] + 0,07; & 30 \leq t < 75 \\ R(80) \cdot \sin\left[\frac{2 \cdot \pi}{T} \cdot t - 2 \cdot \Delta_2(70)\right] + 0,05; & t \geq 75. \end{cases}$$

Состояние обработанной поверхности после завершения процесса полирования исследовалось на образцах из стекла марки К8 в круговой зоне, ограниченной окружностями радиуса $r = 8$ мм и $R = 14,5$ мм (рис. 1). Исследуемые участки находились в трех кольцевых зонах на различных расстояниях x от центра образца. Методом АСМ (рис. 2) показано, что обработанная поверхность характеризуется наличием рельефного слоя с выступами и впадинами, размеры которых находятся в диапазоне $0,1 - 0,2$ мкм. В центральных зонах обработанной поверхности наблюдаются отдельные одиночные дефекты размерами $100-170$ нм. На средних и крайних участках обработанной поверхности наблюдается сосредоточение дефектов размером $145-230$ нм.

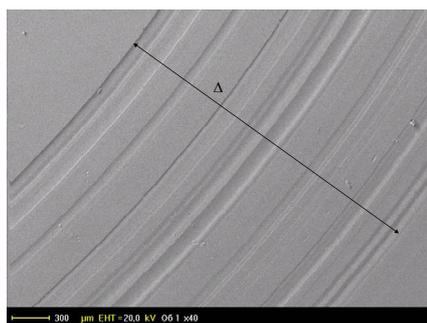


Рис. 1. Изображение исследуемой зоны на образце из стекла (микроскоп-анализатор CamScan-4DV).

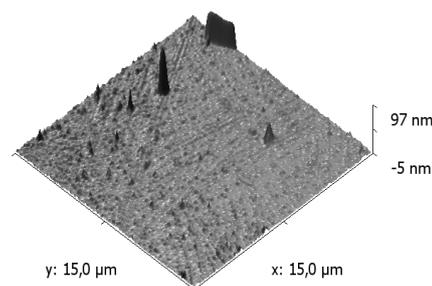


Рис. 2. Микрорельеф обработанной поверхности стекла марки К8.

Анализ микропрофиля обработанной поверхности по профилограммам (рис. 3) исследуемых участков позволил определить высотные параметры шероховатости обработанной поверхности: среднее арифметическое отклонение профиля Ra , среднеквадратичное отклонение профиля Rq (rms) и максимальную высоту профиля $Rmax$ (PV), которые приведены в таблице.

Таблица. Параметры шероховатости обработанной поверхности

Координаты исследуемого участка x , мм	Ra , нм	Rq , нм	PV , нм ($Rmax$)
8,0	2,3	3,6	23,6
8,5	1,3	1,7	10,1
10,5	2,8	3,6	25,0
12,5	10,0	22,7	149,7
14,0	4,7	6,0	41,8
14,5	2,9	3,8	27,8
	4,7	7,7	53,5

Исходя из полученных данных, получена зависимость среднего арифметического отклонения профиля Ra поверхности образца от координат исследуемого участка, которая описывается функцией:

$$Ra(x) = Ra_0 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{\Delta} \cdot x + \frac{\Delta}{n}\right) + \frac{Ra_{\max}}{2},$$

где: $Ra_0 = 4,7$ нм, $Ra_{\max} = 10,03$ нм – среднее арифметическое отклонение профиля исходной поверхности и его максимальное значение соответственно;

$\Delta = R - r = 6,5$ мм – ширина круговой зоны (рис. 1);

$n = 3$ – число кольцевых зон на обработанной поверхности образца из стекла марки К8.

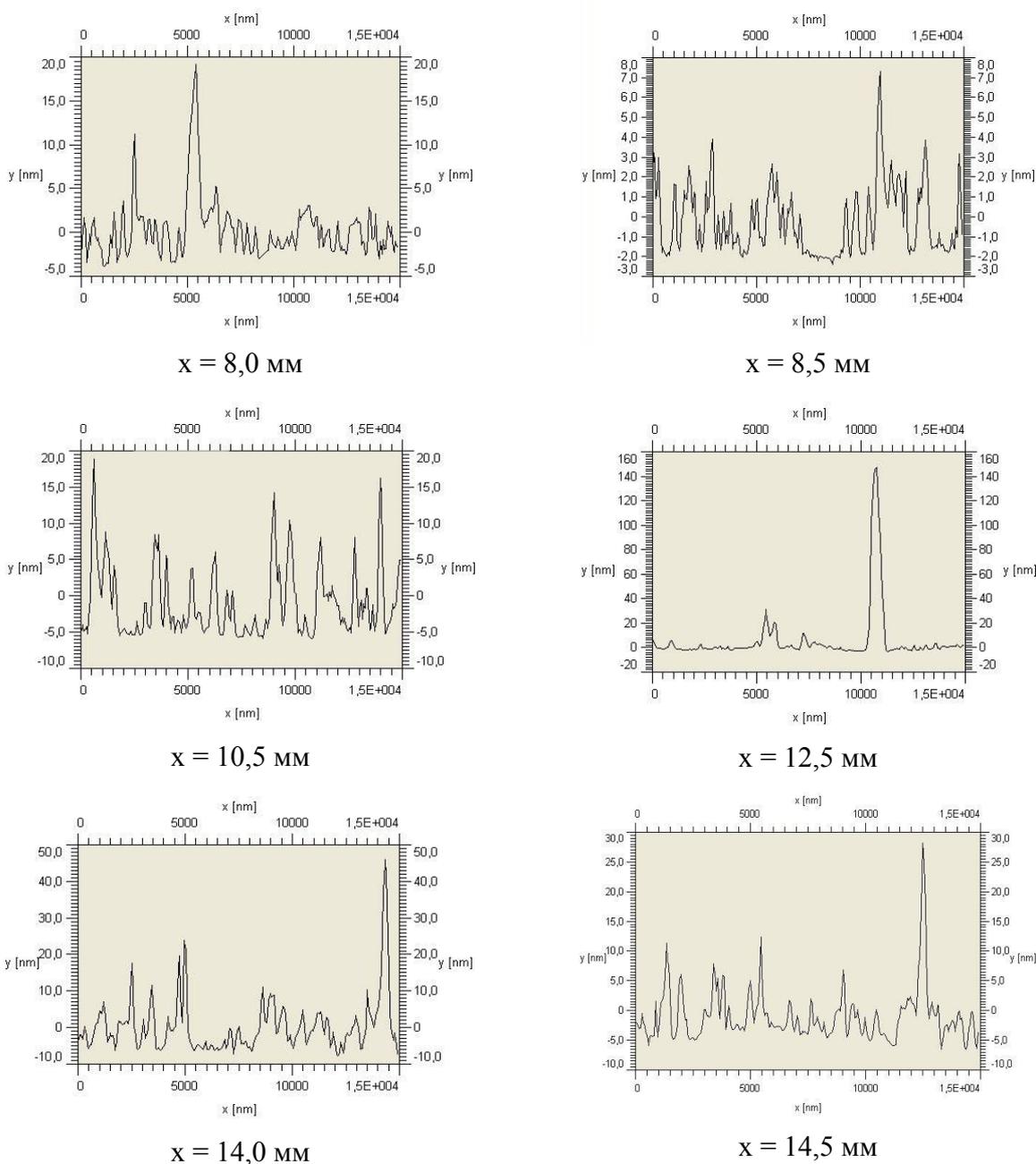


Рис. 3. Профилограммы исследуемых участков полированной поверхности.

Выводы

В результате изучения процесса формирования полированной поверхности изделий из прозрачных природных или синтетических материалов в процессе обработки установлено, что их оптические постоянные периодически изменяются, а зависимости показателя поглощения и коэффициента отражения можно аппроксимировать при помощи периодических функций. При исследовании микрорельефа и микропрофиля обработанной поверхности установлено, что шероховатость поверхности на исследуемом участке зависит от его расстояния от центра обработанной поверхности, а среднее арифметическое отклонение профиля Ra изменяется по периодическому закону.

Литература

1. Рогов В. В. Финишная алмазно-абразивная обработка неметаллических деталей. – Киев: Наук. думка. – 1985. – 264 с.
2. New technology of precision polishing of glass optic / Rogov V. V., Filatov Y. D., Kottler W., Sobol V. P. // Optical Engineering. – **40**, august 2001. – P. 1641–1645.
3. Сідорко В. І., Філатов Ю. Д. Продуктивність фінішної обробки неметалевих матеріалів // Вісник ЖДТУ, Технічні науки, 2005. – Вип. 3 (34). – С. 8–14.
4. Сідорко В. І. Сучасний стан і розвиток технології фінішної алмазно-абразивної обробки природного та штучного каменю // «Современные проблемы подготовки производства, заготовительного производства, обработки и сборки в машиностроении и приборостроении»: Материалы 6-го Международного научно-технического семинара, 21–23 февраля 2006 г., г. Свалява.– Киев: АТМ Украины, 2006. – С. 142–144.
5. Poperenko L. V., Filatov A. Y. In situ ellipsometry of surface layer of nonmetallic transparent materials during its finish processing // E-MRS 2005 Spring Meeting, May 31 – June 3, 2005, Symposium P: Current trends in optical and X-ray metrology of advanced materials for nanoscale devices, P/P.12. – P. 18/32.
6. Эллипсометрический контроль поверхностей деталей из неметаллических материалов / Сідорко В. І., Філатов Ю. Д., Філатов А. Ю., Поперенко Л. В. // Вісник Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут»: Приладобудування. – К.: НТУУ «КПІ», 2006. – Вип. 31. – С. 44–52.
7. Філатов А. Ю. Состояние поверхностей прозрачных диэлектриков в процессе полирования / Новые материалы и инструменты: Сб. докладов Междунар. научно-технического семинара, 1–3 декабря 2005 г., Киев. – Киев: АТМ Украины, 2005. – С. 149–157.

Поступила 15.06.2006 г.