

ОПТИЧЕСКОЕ МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ И ТЕХНОЛОГИЯ

УДК 53.082.54

КАЧЕСТВО ОПТИЧЕСКОЙ ПОВЕРХНОСТИ, ОБРАБОТАННОЙ С ПРИМЕНЕНИЕМ ПОЛИУРЕТАНА

© 2012 г. Г. Н. Вишняков, доктор техн. наук; И. Ю. Цельмина

Всероссийский научно-исследовательский институт оптико-физических измерений, Москва

E-mail: tselmina@mail.ru

В работе приведены результаты исследования качества оптической поверхности деталей, обработанных с применением полиуретанов трех видов на этапе полирования методом многодетальной обработки. Проведено сравнение с результатами обработки оптических поверхностей деталей по стандартной технологии (на смоле). Показана эффективность данного типа полировальников для достижения наименьшей шероховатости, минимального отклонения формы профиля поверхности и местной погрешности формы поверхности. Применение полиуретанов позволяет получать детали, при обработке на блоке, с малым разбросом по параметрам PV и RMS и увеличивает процент выхода годных изделий по оптической чистоте.

Ключевые слова: полиуретаны, оптическая поверхность, шероховатость, оптическая чистота.

Коды OCIS: 220.5450, 240.6700, 220.4610.

Поступила в редакцию 28.02.2012.

Введение

Этап полирования – это заключительная и критическая часть обработки оптических деталей. Цель этого этапа – создание качественной оптической поверхности элемента, которая включает в себя формирование заданного профиля поверхности с малой шероховатостью, достижение оптической чистоты поверхности с уменьшенной глубиной дефектного слоя, увеличенной плотностью оптической поверхности и малой толщиной гидратируемого слоя.

Ранее была реализована полировка оптических деталей либо на смоле, либо на полиуретанах. В настоящее время на этапе полирования широко используются смолы, в том числе отечественного производства. В работах [1, 2] показано, что благодаря таким параметрам и свойствам смолы, как вязкость, температура размягчения, коэффициент трения, липкость и т. п., достигнуты высокая точность формирования формы и малая (не более 1 нм) шероховатость поверхности.

Смолы состоят из различных естественных материалов (масел, соков древесины, канифоли и других составляющих), поэтому от партии к партии могут иметь различные эксплуатационные характеристики [3, 4]. С изменением температуры смолы меняют свои упругие и пластические свойства, что сказывается на качестве поверхности обрабатываемой детали, поэтому необходимо поддерживать постоянными температуру и влажность окружающего воздуха. Так как во время обработки деталей смола на полировальнике постоянно меняет свою форму, то возникает необходимость в “подрезке” смолы и внесении изменений в режим обработки деталей. Известно, что смола способствует осаждению гидратируемого слоя (на глубину до 1 мкм), который “прилипает” к поверхности обрабатываемой детали и скрывает ее поверхностные дефекты [4], проявляющиеся после химической обработки.

Для полирования деталей широко используются полиуретаны. В работе [5] показано, что полировка на полиуретане дает намного

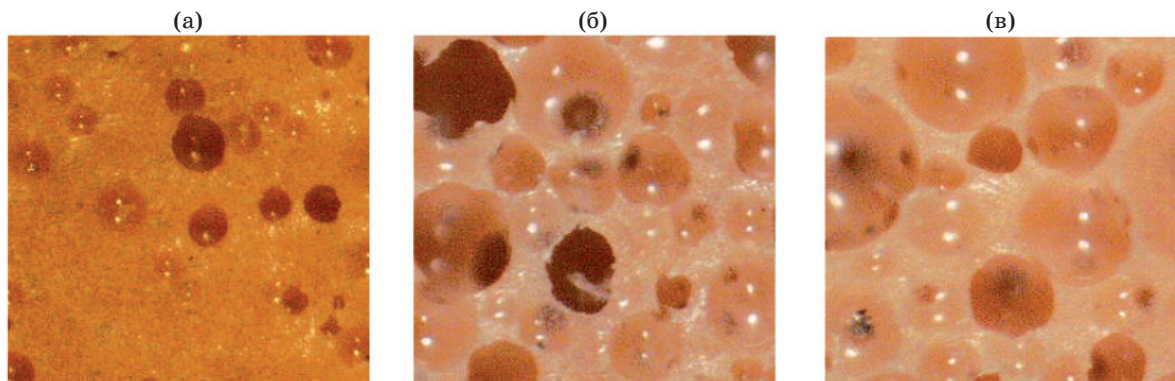


Рис. 1. Структура полиуретанов № 1 (а), № 2 (б), № 3 (в) при увеличении $63\times$. Размер кадра $2,5\times 1,75$ мм.

более высокий MRR (величина съема материала), чем на смоляном полировальнике. Этот факт подтвержден также в настоящей работе. Полиуретан, благодаря своей структуре, не способствует осаждению гидратируемого слоя, что также описано в работе [5]. Однако шероховатость поверхности (Ra) составляет примерно 1 нм, что недостаточно для высоких современных требований к оптическим деталям.

Поэтому для достижения наилучших результатов необходимо объединить два метода обработки оптических деталей.

В данной работе впервые описан объединенный метод обработки: вначале производится обработка деталей на полиуретане, а затем – окончательная доработка деталей на смоле. Проведен сравнительный анализ поверхностей деталей после их обработки с применяемыми в данной работе материалами.

Новая методика обработки

Суть методики заключается в совмещении двух технологий обработки, что дает наилучший результат по качеству поверхности оптической детали. В новой методике используются

- способность полиуретана не создавать гидратируемый слой,

- возможность достижения с помощью смолы наименьшей шероховатости.

В предложенной методике полировка деталей происходит поэтапно на различных типах полировальников: предварительная – на полиуретане LP, окончательная – на смоле.

В работе использовались три вида полиуретанов (производства Германии) с различной структурой, показанной на рис 1. Фотографии структуры полиуретанов получены в химиче-

ской лаборатории на исследовательском стереомикроскопе OLIMPUS SZX 12 (размер кадра $2,5\times 1,75$ мм, увеличение $63\times$).

Обрабатываемая деталь представляет собой плоскопараллельную пластину диаметром 22 мм и толщиной 4,5 мм из литиевоалюмосиликатного ситалла СО-115М. На этапе полирования использовался многодетальный метод обработки, при этом количество деталей на блоке составляло 50 шт. Эксперименты проводились на неавтоматизированном полировально-доводочном станке ЗПД-320 (производство России) при температуре $25\text{ }^{\circ}\text{C}\pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Было проведено сравнение результатов обработки по предложенной технологии и по стандартной технологии на смоле.

Съем материала на этапе полирования был примерно одинаков и составлял порядка 0,02 мм. Для измерения этой величины использовался циферблатный индикатор с ценой деления 1 мкм.

После полирования и химической очистки пластин измерялись шероховатость, форма профиля поверхности и оптическая чистота.

Результаты и обсуждение

1. Шероховатость

Измерения шероховатости деталей выполнялись на интерферометре “белого света” Zygo New View, установленном в “чистой” комнате.

Измеренные значения шероховатости приведены в табл. 1.

Из приведенных данных следует, что благодаря своей структуре и свойствам полиуретан способствует более равномерному формированию оптического слоя поверхности пластин с наименьшей шероховатостью.

Таблица 1. Сравнительные результаты обработки пластин с использованием различных материалов.

Используемый материал инструмента на предварительной полировке	Среднее значение шероховатости, нм			Диапазон изменения шероховатости деталей на одном плане (50 шт), нм		
	PV	Ra	RMS	$\Delta(PV)$	$\Delta(Ra)$	$\Delta(RMS)$
Полиуретан № 1 + смола	1,88	0,128	0,397	0,06	0,06	0,03
Полиуретан № 2 + смола	1,68	0,25	0,272	0,27	0,05	0,065
Полиуретан № 3 + смола	1,527	0,2	0,252	0,41	0,05	0,06
Смола	2,625	0,488	0,604	0,68	0,06	0,09

Распределение основного параметра шероховатости PV для всех 50 одновременно обработанных пластин представлено на рис. 2.

Из рис. 2 видно, что разброс значений шероховатости PV пластин, обработанных на смоле, гораздо больше по сравнению с разбросом на деталях, которые обрабатывались с применением полиуретана.

2. Форма поверхности

Измерения формы профиля поверхности также проводились на интерферометре “белого света” Zygo New View.

На рис. 3 показаны полученные поверхности после окончательной обработки.

Поверхность с наименьшими значениями PV и RMS сформировалась при применении полиуретана № 3 (см. табл. 1).

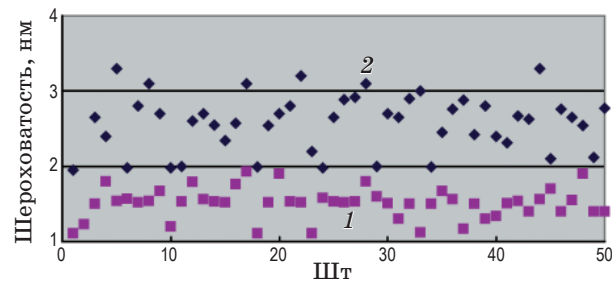


Рис. 2. Разброс величины PV на блоке, обработанном с применением полиуретана № 3 (1) и на смоле (2).

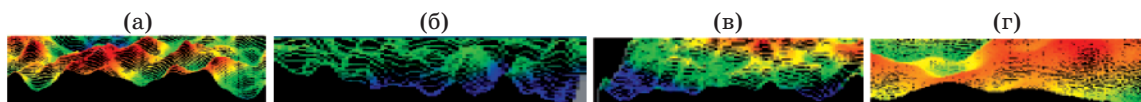


Рис. 3. Форма рельефа поверхности после окончательной обработки. Материал на предварительной обработке: а – смола, б – полиуретан № 3, в – полиуретан № 2, г – полиуретан № 1.

После полировки пластин с применением полиуретана при любых используемых режимах обработки и величине съема материала происходит “завал” полируемой поверхности по краям обрабатываемой детали. Максимальное значение завала поверхностей на краях составляет не более 0,0006 мм. В зависимости от предназначения детали и ее формы можно применять обработку только на полиуретане, за исключением случаев, когда требования к поверхности максимальные. Поэтому для выполнения более высоких требований к оптическим элементам необходимо дополнительное полирование на смоле.

3. Плотность гидратируемого слоя оптической поверхности и оптическая чистота

Плотность гидратируемого (поверхностного) слоя оптической детали и равномерность его толщины играют важную роль в процессе последующей химической обработки оптической детали. Ранее это обсуждалось в работах [6, 7]. В зависимости от плотности и толщины гидратируемого (оптического) слоя выход деталей по оптической чистоте резко отличается после химической обработки. Возникает большое количество видимых мелких царапин, ласин и т. п., что описано в работах [5, 8, 9].

При обработке нескольких партий деталей (с полиуретанами и без них) в равнозначных условиях с одной и той же полирующей суспензией выход годных деталей по “оптической

чистоте” существенно отличается. Проверку оптической чистоты проводили на анализаторе микродефектов поверхности. Результаты по количеству выхода деталей, соответствующих требованиям наивысшего класса чистоты 0–10, с каждого плана приведены в табл. 2.

Гидратируемый слой, осаждаемый на поверхности детали, скрывает дефекты поверхности. Благодаря структуре полиуретана гидратируемый слой на поверхности детали становится более однородным, плотным и тонким по сравнению со слоем, образующимся во время полирования только на смоляном полировальнике.

Заключение

При многодетальной обработке деталей на полиуретане достигается меньший разброс по PV и RMS по сравнению с деталями, обработанными по стандартной технологии (на смоле), что очень важно для серийного оптического производства. При этом величина шероховатости значительно меньше, чем на смоляном полировальнике. Нет необходимости в “подрезке” полировальников во время обработки. Обработка на полиуретане на станках ЗПД-320 дает “завал” края поверхности не более

Таблица 2. Сравнение выхода годных деталей по оптической чистоте после химической обработки при использовании методов по стандартной технологии и с применением полиуретанов.

Метод обработки	Выход годных деталей по оптической чистоте, класс чистоты 0–10, %
Полиуретан + смола	53
Смола	34

0,0006 мм. Диапазон рабочей температуры полиуретана составляет от 22 °С до 27 °С, а смоляные полировальники необходимо менять при изменении температуры на 2–3 °С. Благодаря физико-химическим свойствам длительность срока службы полиуретанового полировальника составляет в среднем 110–120 часов, а смоляного – 60–70 час. Большое влияние на качество параметров оптических поверхностей оказывают совокупность подбора материалов и стабильность климатических условий.

Работа проводилась при финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации (по государственному контракту от 29 июля 2011г. № 16.552.11.7049).

* * * * *

ЛИТЕРАТУРА

1. *Tesar A.A., Fuchs B.A.* Removal Rates of Fused Silica with corium Oxide/Pitch Polishing. Proc. SPIE. 1991. V. 1531. P. 80–90.
2. *Cumbo M.J.* Chemo-mechanical Interactions in Optical Poling // Ph.D. Dissertation. Univ. of Rochester/Rochester. NY, 1993.
3. *DeGroot J.E., Jacobs S.D., Gregg L.L., Marino A.E.* Quantitative characterization of optical polishing pitch // Proc. SPIE. 2001. V. 4451. P. 209–221.
4. *Berggren R.R., Schmell R.A.* Pad polishing for rapid production of large flats // Proc. SPIE 1997. V. 3134. P. 252–257.
5. *Yaguo Li, Jing Hou, Qiau Xu, Jian Wang, Wei Yang, Yindio Guo,* The Characteristics of Optics polished with a polyurethane pad // OPTICS EXPRESS 10285. 2008. V. 16. № 14. P. 7–16.
6. *Cook L.M.* Chemical process in glass polishing // J. Non-Crystalline Solids. 1990. V. 120. P. 152–171.
7. *Lu H., Fookes B., Obeng Y., Machinski S., Richardson K.A.* Quantitative analysis of physical and chemical changes in CMP polyurethane pad surfaces // Materials Characterization. 2002. V. 49. P. 35–44.
8. *Kamimura T., Akamatsu S., Yamamoto M., Yamato I., Shiba H., Motokoshi S., Sakamoto T., Okamoto T., Yoshida K.* Enhancement of Surface-damage Resistance by Removing a Subsurface Damage in Fused Silica // Proc. SPIE. 2004. V. 5273. P. 244–249.
9. *Ramanathan L.S., Sivam S., Mishrara M.K.* “Poliurethane” // In Polymer Data Handbook. J.E. Mark, ed. Oxford Univ. Press, 1999.