

А. В. ПИРОГОВ, С. Д. ВАСИЛЬКОВ, В. П. САВЧЕНКО

КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА ОПТИЧЕСКИХ ИЗДЕЛИЙ ИЗ ТЕРМОПЛАСТИЧНЫХ ПОЛИМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Приведены некоторые методы контроля параметров оптических изделий, изготовленных из термопластичных полимерных материалов. Представлены методы контроля размеров, шероховатости и остаточных напряжений на примере плосковогнутой линзы. Проанализированы дефекты линз и результаты измерений, предложены рекомендации по улучшению качества полимерных линз при проектировании и производстве.

Ключевые слова: литье под давлением, оптические полимерные материалы, литьевая форма, полимерная линза, шероховатость, микрогеометрия, геометрические отклонения, остаточные напряжения, усадка.

Введение. Контрольные операции являются неотъемлемой и важной частью любого производственного процесса. От выбора стратегии и способов контроля изделия зависят общая производительность предприятия и показатели качества продукции. Важно выделить контролируемые параметры на каждом этапе производственного процесса и в соответствии с этим подобрать методики и средства контроля.

Требования к оптическим изделиям из стекла определяются на основании ГОСТ 23136-93 „Материалы оптические. Параметры“, ГОСТ 11141-84 „Детали оптические. Классы чистоты поверхностей. Методы контроля“ и др. [1]. Поскольку не разработаны нормативные документы, касающиеся оптических изделий из полимерных материалов, основой при анализе контролируемых параметров линз являются требования для стекол. Требования ЕСКД к чертежам оптических изделий из полимерных материалов также не регламентированы, поэтому необходимо рассматривать требования, предъявляемые к оптическим стеклам, основываясь на ГОСТ 3514–76 „Стекло оптическое бесцветное. Технические условия“ [1].

Необходимо контролировать параметры не только линзы, но и всего оптического изделия в сборе. Требования к параметрам изделия формируются на основе чертежей и технического задания. Параметры контроля можно разделить на шесть групп: размерные, оптические, технологические, химические, механические и температурные [2].

Контроль оптических изделий, полученных методом литья под давлением, имеет ряд особенностей:

1) при литье под давлением получается готовое изделие, что ограничивает использование контактных методов измерений, однако их можно применять в массовом производстве при выборочном контроле;

2) необходимость контроля как физических величин (показателей точности изготовления), так и качества изображения или распределения интенсивности света оптической системы.

Особенно важно контролировать оптические поверхности изделия, которые отвечают за направление распространения света, форму волнового фронта и ход лучей в зависимости от области применения (изображающие или неизображающие оптические изделия) [3]. Для высокоточных поверхностей допустимое отклонение полученной формы от заданной составляет десятые и сотые доли микрометра. В таблице представлены типичные характеристики оптических элементов, полученных методом литья под давлением [4].

Допуски на изделия из термопластичных полимерных материалов

Параметр	Качество изделия		
	низкое	стандартное	высокое
Отклонение фокусного расстояния и радиуса кривизны, %	$\pm 3—5$	$\pm 2—3$	$\pm 0,5—1$
Геометрические отклонения оптических поверхностей, мкм	20—50	5—20	0,5—5
Точность центрирования, ...'	± 3	± 2	± 1
Отклонения толщины и диаметра, мм	$\pm 0,1$	$\pm 0,05$	$\pm 0,01$
Шероховатость Ra, нм	10—15	5—10	2—5

Как видно из таблицы, значения допусков для оптических изделий сравнимы с длиной волны, поэтому необходимо иметь соответствующие высокоточные средства измерений. При этом требования для изображающих оптических изделий выше, чем для неизображающих. Ошибки контролируемой поверхности измеряются в долях длины волны или в долях интерференционной полосы.

Исследовалась плосковогнутая линза (рис. 1, а) из поликарбоната, входящая в состав оптической системы, состоящей из двух линз с инфракрасным источником света (рис. 1, б). Требования к линзе были предоставлены кафедрой ПиКО Университета ИТМО. Шероховатость для оптических поверхностей была определена значением $Rz = 0,05$ мкм, для остальных поверхностей $Ra = 2,5$ мкм. Была спроектирована и изготовлена литьевая форма из стандартных блоков со сменным двухгнезным комплектом формообразующих деталей (ФОД) [5]. В результате было получено около 50 отливок при различных режимах литья.

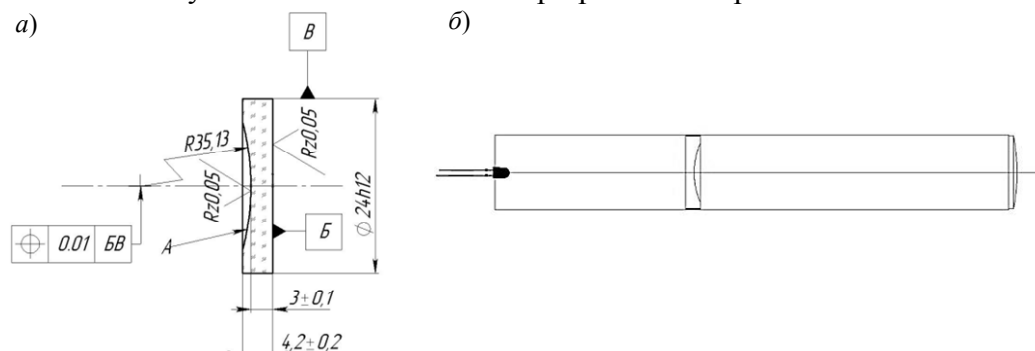


Рис. 1

Для анализа выбраны несколько линз различного качества, были проведены измерения: размеров ФОД и линз, шероховатости ФОД и линз, а также остаточных напряжений в линзах.

При визуальном осмотре выявлены следующие дефекты:

- „ворсиноподобные“ следы на поверхностях линз, что связано с недостаточно чистой поверхностью при подготовке ФОД перед литьем;
- микроцарапины, появление которых связано с нерегламентированным хранением и транспортировкой линз;
- наличие воздушных пузырей в литниковой системе;
- анизотропия усадки в направлении толщины линзы, равноудаленная от центра;
- поверхностные матовые области за впускным литником на изделии, с наличием следов течения, что может быть связано с особенностью геометрии впускного литника или высокой скоростью впрыска;
- мутные области белесоватого цвета в некоторых линзах, что связано с повышенной влажностью исходного гранулированного материала.

Контроль размеров линз проводился с помощью контрольно-измерительной машины Global Performance. Наиболее ответственная область линзы ограничена заданным световым

диаметром в 17 мм, в нее не попадает плоская кайма с описанной выше усадкой. Для рассматриваемой области наибольшие отклонения наблюдались у радиуса вогнутой части, а именно в диапазоне 0,3—0,5 мм, что существенно превышает допуск на общую ошибку. Это связано с тем, что при проектировании ФОД необходимо учитывать усадку материала (0,3—0,8 %). Размеры были увеличены на 0,4 %, но этого оказалось недостаточно ввиду большой толщины линзы.

Контроль шероховатости проводился с помощью профилометров Hommel Tester T8000 и Taylor-Hobson Surtronic 3+. Наилучшие локальные значения шероховатости составили $R_z = 0,1$, а средние — $R_z = 0,35$ и $R_a = 0,06$ мкм, что существенно хуже исходных требований к оптическим поверхностям ($R_z = 0,05$ мкм). Учитывая, что в некоторых случаях полное поглощение световой волны достигается при $\lambda/4$ и что данная линза используется в инфракрасном диапазоне, можно рассмотреть новые требования по шероховатости, которые могут быть снижены до $R_z = 0,23$ мкм.

Контроль остаточных напряжений проводился с помощью поляризационной установки FL 200. Результаты измерений в области „прибыли“ и впускного литника представлены на рис. 2, а и б соответственно (термин „прибыль“ относится к литью металлов и используется при литье полимеров). Линии напряжений в монохроматическом свете видны более четко, чем при белом свете. Перед „прибылью“ наблюдается концентрация напряжений, возникающая из-за линии спая при смыкании потоков расплава. После увеличения длины „прибыли“ описанный дефект был смещен из оптической области. Подобные концентраторы напряжений характерны для плосковогнутых и двояковогнутых линз, когда скорость потоков при впрыске по краям изделия больше, чем в центральной части. В основном линии остаточных напряжений располагаются вдоль окружности линз. Существенные остаточные напряжения наблюдаются во впускных литниках, что связано с малой толщиной последних по сравнению с разводящим литником. Это обстоятельство и разнотолщинность линзы повлияли на качество поверхности, о чем говорилось выше.

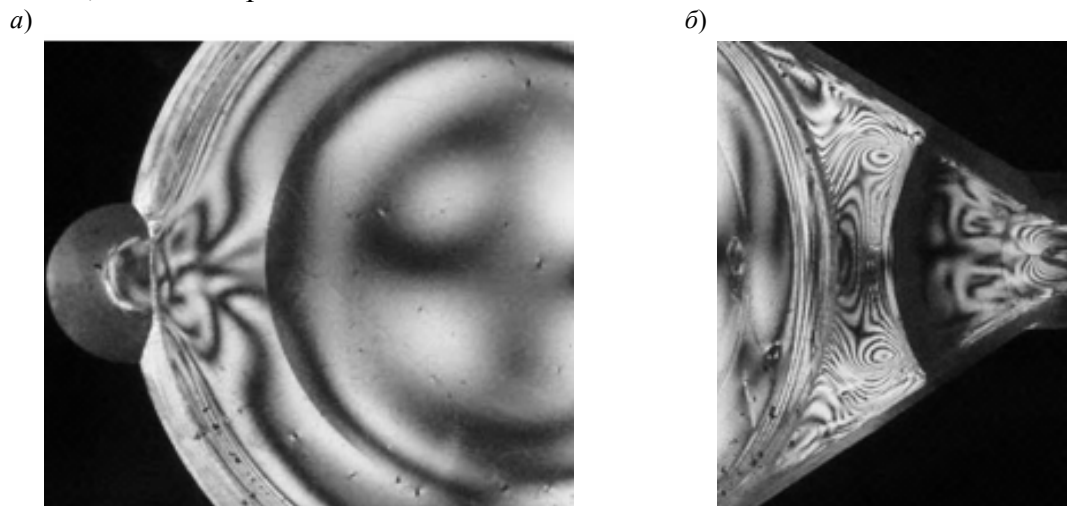


Рис. 2

Выводы. При проектировании технологической оснастки для литья полимерных оптических материалов под давлением и при выборе режимов литья необходимо учитывать особенности влияния геометрии поверхности линз и их толщины. Так, необходимо предварительно увеличивать размеры формообразующих полостей с учетом усадки полимерного материала и общей толщины изделия, что особенно влияет на радиусные поверхности. Наличие „прибыли“ позволяет сместить концентраторы остаточных напряжений в области, требования по качеству к которым снижены, а увеличение ее размеров позволяет снизить остаточные напряжения и убрать линии спая.

Шероховатость поверхности линзы существенно зависит от качества поверхности ФОД. В связи с условиями эксплуатации линзы в инфракрасном диапазоне, вероятно, возможно снизить требования по шероховатости, а значит — сократить временные и экономические показатели при изготовлении литьевой оснастки.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Окатов М. А., Антонов Э. А., Байгожин А.* и др. Справочник технолога-оптика. СПб: Политехника, 2004. 679 с.
2. *Вильчинская С. С., Лисицын В. М.* Оптические материалы и технологии. Томск: Изд-во Томского политехнического ун-та, 2011. 107 с.
3. *Романова Г. Э., Паршин М. А., Серегин Д. А.* Конспект лекций по курсу „Компьютерные методы контроля оптики“. СПб: СПбГУ ИТМО, 2011.
4. *Mayer R.* Precision injection molding // *Optik & Photonik*. 2007. N 4. P. 46—51.
5. *Васильев Е. Ю., Осипчук С. В., Помпеев К. П., Третьяков С. Д., Яблочников Е. И.* Применение современного технологического оборудования и программного обеспечения для изготовления и контроля формообразующих деталей литьевых форм // „Современное машиностроение. Наука и образование“. Матер. 3-й Междунар. науч.-практ. конф. СПб: Изд-во Политехнического ун-та, 2013. № 3. С. 291—300.

Сведения об авторах

- Александр Владимирович Пирогов* — аспирант; Университет ИТМО, кафедра технологии приборостроения, Санкт-Петербург; E-mail: avp1g@mail.ru
- Сергей Дмитриевич Васильков* — канд. техн. наук, доцент; Университет ИТМО, кафедра технологии приборостроения, Санкт-Петербург; E-mail: vasilkovsd@mail.ru
- Владимир Павлович Савченко* — аспирант; Университет ИТМО, кафедра технологии приборостроения, Санкт-Петербург; E-mail: sawtchenko@gmail.com

Рекомендована кафедрой
технологии приборостроения

Поступила в редакцию
09.04.14 г.