

ТЕХНОЛОГІЯ **МАШИНОБУДУВАННЯ**

УДК 621.91.01-36

Лавриненко С.Н., д-р техн. наук

МЕТОДИКА ОЦЕНКИ НАЛИЧИЯ ВНУТРЕННИХ НАПРЯЖЕНИЙ В ПОЛИМЕРНЫХ ЗАГОТОВКАХ И ГОТОВЫХ УЛЬТРАПРЕЦИЗИОННЫХ БИОИНЖЕНЕРНЫХ ИЗДЕЛИЯХ

Введение. Для производства прецизионных и ультрапрецизионных функциональных полимерных изделий, обладающих заданными эксплуатационными характеристиками, необходимо соблюдение соответствия жестким требованиям к качеству исходного сырья для производства полимера, отсутствию инородных включений как на поверхности так и в объеме материала, отсутствию остаточных напряжений в блочном полимере и в порезанных заготовках. Исходные заготовки для последующей получистой и чистовой обработки получают методом порезки исходного полимерного блока со значительным припуском на получистовую обработку, снятие которого гарантирует минимальный уровень остаточных напряжений в поверхностном слое, возникших в процессе порезки блока.

Для особо ответственных изделий, например, для биоинженерной ультрапрецизионной оптики, интраокулярных и контактных линз, необходимо тестирование наличия и характера внутренних напряжений в полимерной заготовке для определения оптимального раскроя блока с выбраковкой участков с чрезмерными внутренними напряжениями, выбора возможного способа релаксации допустимых напряжений после порезки и черновой обработки и для выработки технологических решений по проведению получистой и чистовой лезвийной обработки, которые могли бы также способствовать снижению уровня этих напряжений (направление подачи, уровень скоростей главного движения резания и рабочих ходов и т.п.) вплоть до контроля и сертификации готового оптического изделия.

Анализ публикаций. Чрезвычайно ответственным этапом процесса производства оптических изделий высокого качества является процедура подготовки исходной мономерной композиции и условия полимеризации (радикальная, фронтальная и т.п.), в процессе которой формируется макроструктура глобул и пространственная ориентация макромолекул, определяющие образование "свилей", образуются дефекты в виде пузырьков воздуха, посторонних включений и т.п.; температура полимеризации; полученная молекулярная масса полимерной заготовки; процентное содержание остаточного мономера [1]. Предполагается получение исходного обрабатываемого материала в соответствии с паспортом качества и определенными требованиями стандартов, однако предварительный общий контроль качественных показателей исходной заготовки безусловно необходим. Уровень изначальной дефектности заготовки контролируется визуально-оптическим методом при помощи микроскопов различных конструкций, обеспечивающих удобное расположение контролируемой заготовки на предметном столе или в специальном приспособлении для ее крепления. Обычно используется шести-,

восьми- или десятикратное увеличение для определения внутренних дефектов или включений (воздушные пузырьки, инородные включения, включения мономера, внутренние трещины и т.п.) или внешних поверхностных дефектов (царапины, каверны, трещины серебра и т.п.) [2]. Использование объективов с большим увеличением на данном этапе нецелесообразно вследствие уменьшения показателей глубины резкости, что препятствует исследованию всего внутреннего объема заготовки оптического полимера [3].

Цель работы. Разработка методики тестирования наличия и характера внутренних напряжений в полимерной заготовке для биоинженерной ультрапрецизионной оптики с целью определения оптимального раскроя блока; выбраковки участков с чрезмерными внутренними напряжениями; выбора возможного способа релаксации допустимых напряжений после порезки и после черновой, получистовой и чистовой лезвийной обработки; для контроля и сертификации готового оптического изделия.

Методика оценки наличия внутренних напряжений. Ультрарезиционная механическая обработка предусматривает высокую технологичность процесса, в котором основная часть факторов, определяющих качество получаемых в результате оптических изделий, оптимизирована, нормирована и строго контролируется. При этом предполагается минимальная дефектность вновь образованного поверхностного слоя и минимальный уровень вносимых или уже присутствующих в нем напряжений, которые могут привести к ускоренному старению полимера, то есть активизировать микроразрушение его поверхности за счет образования трещин серебра и других микро- и субмикрордефектов.

Исходя из изложенного, была разработана методика для тестирования качества исходной структуры и структуры обработанного полимера, наличия в нем внутренних напряжений, определения их характера и глубины проникновения в объем поверхностного слоя готового изделия – методика поляризационно-оптического сканирования в проникающем световом потоке. В основу этой методики положено явление фотоупругости стеклообразных аморфных полимеров, за счет которого по изменению цветовой гаммы и интенсивности световых пятен анализируемого проникающего поляризованного света можно определять не только качественные параметры выявленных напряжений, но и косвенно оценивать также их количественные характеристики. Принципиальная схема экспериментального стенда для тестирования наличия и характера остаточных напряжений в полимерных заготовках и готовых изделиях представлена на рис. 1.

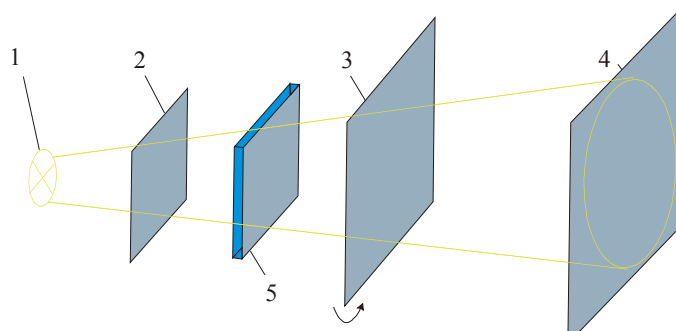


Рис. 1. Схема поляризационно-оптического стенда для контроля внутренних напряжений в полимерных оптических изделиях: 1 – сфокусированный источник белого света; 2 – поляризатор; 3 – анализатор; 4 – экран; 5 – образец

В качестве источника белого света (1) применяется галогенная лампа мощностью 200 Вт с фокусионной линзой и принудительным воздушным охлаждением. Кон-

тролируемый образец (5) оптически прозрачного полимера помещается между поляризатором (2) и анализатором (3), при этом анализатор имеет возможность вращаться вокруг оптической оси. В качестве поляризатора и анализатора используются полимерные пленочные поляризаторы с рабочей длиной волны поляризуемого света в пределах 430 – 670 нм. Световой пучок от сфокусированного источника белого света, пройдя через поляризатор, образец и анализатор, попадает на экран (4) для визуальной качественной оценки результатов контроля.

После этапа визуального контроля качества исходной заготовки, а также обмера ее геометрических параметров, необходим контроль уровня остаточных напряжений в полимерном материале, возникших на этапе полимеризации, а также уровень остаточных напряжений после предварительной обработки. Для этого наиболее целесообразно использовать поляризационно-оптический метод.

На рис. 2 представлены качественные результаты тестирования заготовки для производства асферических вогнутых линз из листового полистирола размером 125 x 125 мм и толщиной 4 мм.

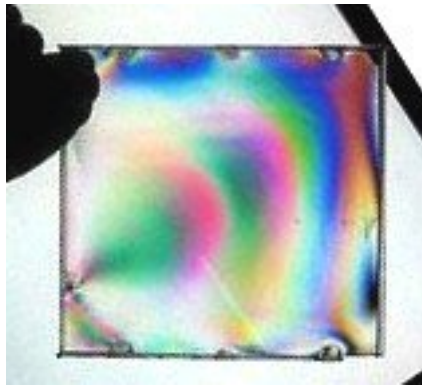


Рис. 2. Результаты тестирования наличия и характера распространения внутренних напряжений в полимерной заготовке (изображение на экране стенда)

Как видно из рисунка пластина имеет неоднородности в распространении внутренних напряжений, заложенных на этапе полимеризации и порезки. Темные участки при этом характеризуют зоны с высоким уровнем напряжений и при последующем раскрое необходимо учитывать тот факт, что можно использовать только те участки заготовки, которые по однородности распространения внутренних напряжений отвечают требованиям высокого качества и не нуждаются в дополнительной тепловой или криогенной релаксации внутренних напряжений перед чистовой механической обработкой. Часть заготовки подлежит выбраковке с передачей ее для производства малоответственных конструкционных деталей.

Разработанный стенд позволяет контролировать качество исходной структуры полимерной заготовки, контролировать наличие и характер внутренних напряжений при черновой обработке заготовки в размер, а также осуществлять ключевой контроль на этапах прецизионной и ультрапрецизионной алмазной однолезвийной обработки. При этом следует отметить, что контроль внутренних напряжений на этих этапах (при использовании правильно выбранной заготовки и соблюдении всех предписанных технологических требований процесса производства) более сложная задача, так как получаемая в поляризованном свете картина не является достаточно четко выраженной из-за низкого уровня напряжений в поверхностном слое обрабатываемого полимера. Однако применение ССD камеры с большим разрешением для регистрации и цифровой компьютерной обработки полученных изображений позволили получить четкую кар-

тину распространения внутренних напряжений очень низкого уровня в готовых прецизионных и ультрапрецизионных полимерных изделиях. На рис. 3 представлена картина распределения остаточных внутренних напряжений в асферической линзе из полистирола.

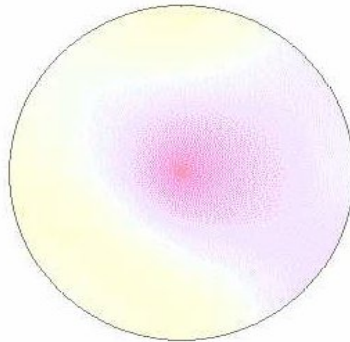


Рис. 3. Распределения остаточных внутренних напряжений в асферической линзе из полистирола

По характеру распределения остаточных внутренних напряжений можно четко проследить влияние кинематики взаимодействия инструмента и обрабатываемого материала. В направлении к оси заготовки, где скорость перемещения режущей кромки вдоль обрабатываемой поверхности является наименьшей (даже при условии коррекции скорости резания), уровень напряжений, вследствие роста тепловой и динамической напряженности процесса, является наибольшей.

Дальнейшее развитие данной методики тестирования и контроля качества заготовок и готовой продукции при производстве полимерной оптики с высокими эксплуатационными характеристиками предполагает создание компьютерной программы для количественной оценки уровня внутренних напряжений, а также для комплексного физического моделирования процессов прецизионной и ультрапрецизионной механической обработки оптических термопластических полимерных материалов и композиций на их основе.

Выводы:

1. Методика контроля наличия остаточных напряжений в заготовках на всех этапах производственного цикла и дальнейшее совершенствование технологического процесса порезки и предварительной подготовки заготовок для высококачественных полимерных биоинженерных изделий позволит обеспечивать новый уровень функциональных свойств и повысит их стабильность в процессе эксплуатации.

2. Для усовершенствования представленной разработки необходимо создание программного обеспечения для количественной оценки уровня напряжений и цифровой обработки полученных результатов с учетом показателей фотоупругости конкретных обрабатываемых оптических полимеров.

Литература: 1. Аскадский А.А., Матвеев Ю.И. *Химическое строение и физические свойства полимеров*. М.: Химия, 1983. – 538 с. 2. Сенчишин В.Г. *Фундаментальные оптические потери в прозрачных полимерных матрицах* // *Вісник ХДУ, серія "Фізика"*, 1999. – Т.3. – № 440. – С. 62–66. 3. Шепурев Э.И. *Полимерные оптические материалы*. Л.: ЛДНТП, 1987. – 136 с.

Bibliography (transliterated): 1. Askadskij A.A., Matveev Ju.I. *Himicheskoe stroenie i fizicheskie svoystva polimerov*. M.: Himija, 1983. – 538 s. 2. Senchishin V.G. *Fundamental'nye opticheskie poteri v prozrachnyh polimernyh matricah* // *Visnik HDU, serija "Fizika"*, 1999. – T.3. – № 440. – S. 62–66. 3. Shepurev Je.I. *Polimernye opticheskie materialy*. L.: LDNTP, 1987. – 136 s.

Лавриненко С.М.

**МЕТОДИКА ОЦІНКИ НАЯВНОСТІ ВНУТРІШНІХ НАПРУЖЕНЬ
У ПОЛІМЕРНИХ ЗАГОТОВКАХ ТА ГОТОВИХ УЛЬТРАПРЕЦИЗІЙНИХ
БІОІНЖЕНЕРНИХ ВИРОБАХ**

Залишкові напруги різної природи в значній мірі впливають на функціональні характеристики готових виробів. Для біоінженерної ультрапрецизійної оптики, наприклад, інтраокулярних та контактних лінз, необхідно тестування наявності і характеру внутрішніх напружень в полімерних заготовках для визначення оптимального розкрою блоку з вибракуванням ділянок з надмірними внутрішніми напруженнями; вибору можливого способу релаксації допустимих напружень після порізки та після чорнової, получистової і чистової лезової обробки; для контролю і сертифікації готового оптичного виробу. Розроблено методика поляризаційно-оптичного сканування в проникаючому потоці білого світла, що дозволяє визначати наявність, характер і глибину проникнення в об'єм полімерного матеріалу внутрішніх напружень.

Лавриненко С.Н.

**МЕТОДИКА ОЦЕНКИ НАЛИЧИЯ ВНУТРЕННИХ НАПРЯЖЕНИЙ В
ПОЛИМЕРНЫХ ЗАГОТОВКАХ И ГОТОВЫХ УЛЬТРАПРЕЦИЗИОННЫХ
БИОИНЖЕНЕРНЫХ ИЗДЕЛИЯХ**

Остаточные напряжения различной природы в значительной степени влияют на функциональные характеристики готовых изделий. Для биоинженерной ультрапрецизионной оптики, например, интраокулярных и контактных линз, необходимо тестирование наличия и характера внутренних напряжений в полимерной заготовке для определения оптимального раскроя блока с выбраковкой участков с чрезмерными внутренними напряжениями; выбора возможного способа релаксации допустимых напряжений после порезки и после черновой, получистовой и чистовой лезвийной обработки; для контроля и сертификации готового оптического изделия. Разработана методика поляризационно-оптического сканирования в проникающем потоке белого света, позволяющая определять наличие, характер и глубину проникновения в объем полимерного материала внутренних напряжений.

Lavrynenko S.N.

**METHODOLOGY OF INTERNAL STRESSES ASSESSMENT
IN POLYMER WORKPIECES AND FINISHED ULTRAPRECISION
BIOENGINEERING COMPONENTS**

Residual stresses of different nature have a significant impact on the functional characteristics of the finished product. For bioengineering ultraprecision optics, for example, intraocular and contact lenses, to test the existence and nature of the internal stresses in the polymer workpiece to determine the optimal cutting block culling areas with excessive internal stresses, the choice of possible ways allowable stress relaxation after cutting and after roughing, and finishing processing blade, for the inspection and certification of finished optical products. The technique of polarization-optical scanning acting beams of white light that allows to determine the internal stresses existence, its nature and depth of penetration into the bulk polymer material.
