

ВЛИЯНИЕ НЕПЛОСКОСТНОСТИ ОПТИЧЕСКИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ НА КАЧЕСТВО БЕСКЛЕЕВОГО КОНТАКТНОГО СОЕДИНЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ

Н.Р. Запотылько¹, А.А. Катков^{1,2}, И.Н. Полехин^{1,2}
1. ФГУП «НИИ «Полюс» им. М.Ф.Стельмаха; 2. МИЭМ (ТУ)
E-mail: a_katkoff@mail.ru

In this work the experimental results of the nonflatness of the optics elements, which has been measured before join by optical contacting bonding, are achieved and analyzed. The criterions of the nonflatness for the optical elements, which have been used in the laser gyros, are recommended.

В оптическом приборостроении применяют, в основном, два вида соединений: клеевые и бесклеевые. Последние разделяют на разъемные (оптический контакт – ОК) и неразъемные (глубокий оптический контакт – ГОК).

В ряде изделий электронной техники недопустимо присутствие адгезиционных (клеевых) слоев. В этом случае применение бесклеевых соединений становится актуальным и технически необходимым.

Оптическим контактом называют контактное соединение двух поверхностей твёрдых тел, тщательно отполированных и сближенных на расстояние, намного меньшее длины световой волны (порядка нм). Оптический контакт в нормальных условиях (на воздухе) приводит к высокопрочному соединению твёрдых тел, обусловленному, главным образом, силами межмолекулярного взаимодействия, возникающими между адсорбированными из воздуха на поверхности контактирующих тел молекулами воды и углеводородов.

Геометрическая толщина ОК зависит от качества обработки соединяемых поверхностей и не является постоянной величиной в пределе всей контактируемой поверхности [1].

Немаловажным вопросом в нашем производстве является увеличение механической прочности ОК, которая характеризуется величиной усилия, необходимого для разрушения контакта при разрыве, отнесенного к единице площади контактируемых поверхностей.

На прочность ОК соединяемых деталей оказывает влияние множество факторов: чистота, шероховатость, неплоскостность соединяемых поверхностей, различие ТКЛР контактируемых материалов и т. д.

В данной работе рассмотрено влияние неплоскостности на качество ОК контактирующих поверхностей двух соединяемых полированных деталей.

Неплоскостность сопрягаемых поверхностей оказывает огромное влияние на качество оптического контакта. Здесь можно рассмотреть два случая: контакт выпуклых поверхностей (рис. 1, а) и контакт вогнутых поверхностей (рис. 1, б).

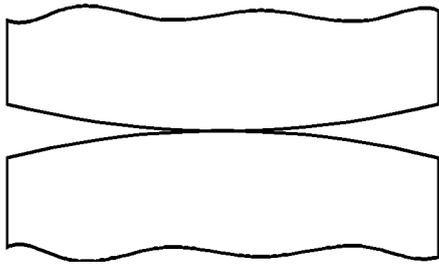


Рис. 1, а. Контакт выпуклых поверхностей.

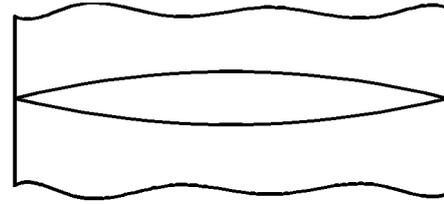


Рис. 1, б. Контакт вогнутых поверхностей.

Рассмотрим взаимодействие выпуклых поверхностей (рис. 1, а). При большом суммарном отступлении от плоскостности в обеих контактирующих поверхностях при малом диаметре ОК силы упругости увеличиваются. Следовательно, для их уменьшения необходимо либо уменьшить высоту шаровых сегментов поверхностей, либо увеличить диаметры контактирующих тел.

При взаимодействии вогнутых поверхностей контактная площадь контактирующих фасок мала, следовательно, действие сил упругости, аналогичное контакту выгнутых поверхностей, будет незначительным. Поэтому разрушающее напряжение при взаимодействии вогнутых поверхностей должно иметь большую величину, чем при контакте выпуклых. Это утверждение было подтверждено экспериментально [5].

Для высоты шаровых сегментов у двух сопрягаемых деталей, равной $5 \cdot 10^{-8}$ м, как для вогнутых, так и для выпуклых тел сила упругости составила 17 % и 32 %, соответственно, а сила ОК вогнутых поверхностей приблизительно на 20 % больше силы ОК для выгнутых поверхностей при одинаковых (по модулю) величинах отклонения от плоскостности.

Видно, что при контакте выпуклых поверхностей силы упругости составляют значительную величину от прочности оптического контакта.

Также была установлена практически линейная зависимость прочности ОК от величины неплоскостности соединяемых поверхностей, кроме того, прочность соединения оптических деталей пропорционально увеличивается со временем вследствие уменьшения напряжений, которые возникают из-за отклонений от плоскостности сопрягаемых поверхностей [4, 5].

Помимо этого, в [6] указываются максимально допустимые значения величины неплоскостности оптических элементов для различных диаметров сопрягаемых деталей. Величины возможных отклонений от плоскостности значительно превышают принятые в оптическом приборостроении.

Упрочнение оптического контакта со временем происходит за счет перераспределения слоя воды по поверхностям контактируемых деталей за счет утончения этого связующего слоя, а также за счет микроперемещений элементов поверхности и изменения свойств поверхностного слоя, которые приводят к уменьшению внутренних напряжений в контакте [2, 3, 5].

Целью данной работы является установление зависимости качества оптического контакта от величин неплоскостности сопрягаемых оптических

деталей для оптимизации критерия отбора годных изделий. Необходимость данной работы обусловлена часто возникающими нарушениями оптического контакта в резонаторах при проведении их термовакуумной обработки (ТВО) при температуре 180°C. Эти нарушения приводят к появлению микротечей во внутренней объем резонатора.

Исследовались оптические элементы приборов, выпускаемых на предприятии, соединенных методом оптического контакта. Проверка параметра неплоскостности проводилась перед посадкой деталей на ОК. Здесь и далее под «ножкой» понимается блок электродов, где поверхность, предназначенная для посадки на оптический контакт, представляет собой кольцо с внешним диаметром, равным 45, и внутренним диаметром, равным 22 мм, устанавливаемое на массивный «корпус». Обе детали выполнены из ситалла СО-115М.

Все исследуемые детали удовлетворяли требованиям по неплоскостности, установленным на предприятии. Для «ножек» максимально допустимая величина общей ошибки N составляет 0,7 кольца, а локальной ошибки - $\Delta N = 0,5$ кольца. Для «корпусов» эти требования несколько жестче: $N = 0,5$ и $\Delta N = 0,3$ кольца, соответственно. В литературе [6] для соединения ОК диаметром от 20 до 160 мм указаны величины неплоскостности, равные $N = 0,3$ кольца и $\Delta N = 0,1$ кольца.

Все измерения проводились на фазоизмерительной интерферометрической системе «Mark-III» фирмы «Zygo» (Германия). Длина волны излучения составляла 0,6328 мкм.

Под величинами N_{\max} и N_{\min} понимаются максимальное и минимальное локальные отклонения от плоскостности ΔN , соответственно.

Рассмотрим результаты сравнения значений величин неплоскостности «ножек» перед посадкой на оптический контакт. Сравниваются «ножки», которые образовали с «корпусом» качественное соединение, и «ножки», у которых в процессе ТВО произошло нарушение контактного соединения. Предполагалось, что величины неплоскостности изделий, образовавших качественное и некачественное соединения, будут различаться. Это могло бы стать критерием отбора годных изделий.

Для анализа были взяты «ножки» в количестве 231 штуки, из них 170 образовали качественное соединение и 61 некачественное. На рис. 2, а-в представлены графики нормального распределения «ножек» в зависимости от величин общей и локальной неплоскостности. На рис. 2, г представлено нормальное распределение величины пиков-впадин PV , вычисленное как сумма абсолютных значений N_{\min} и N_{\max} для каждой детали.

Из графиков видно, что различие в величинах общей и местной ошибок, а также различие в соотношении пик-впадина для деталей, образовавших качественное соединение, и деталей, соединение которых нарушилось при проведении ТВО, минимально, хотя заметно некоторое смещение максимума плотности вероятности для деталей, образовавших качественное соединение, в сторону значений с меньшей абсолютной величиной. Но такого смещения явно недостаточно для выработки критерия отбраковки деталей на стадии контроля.

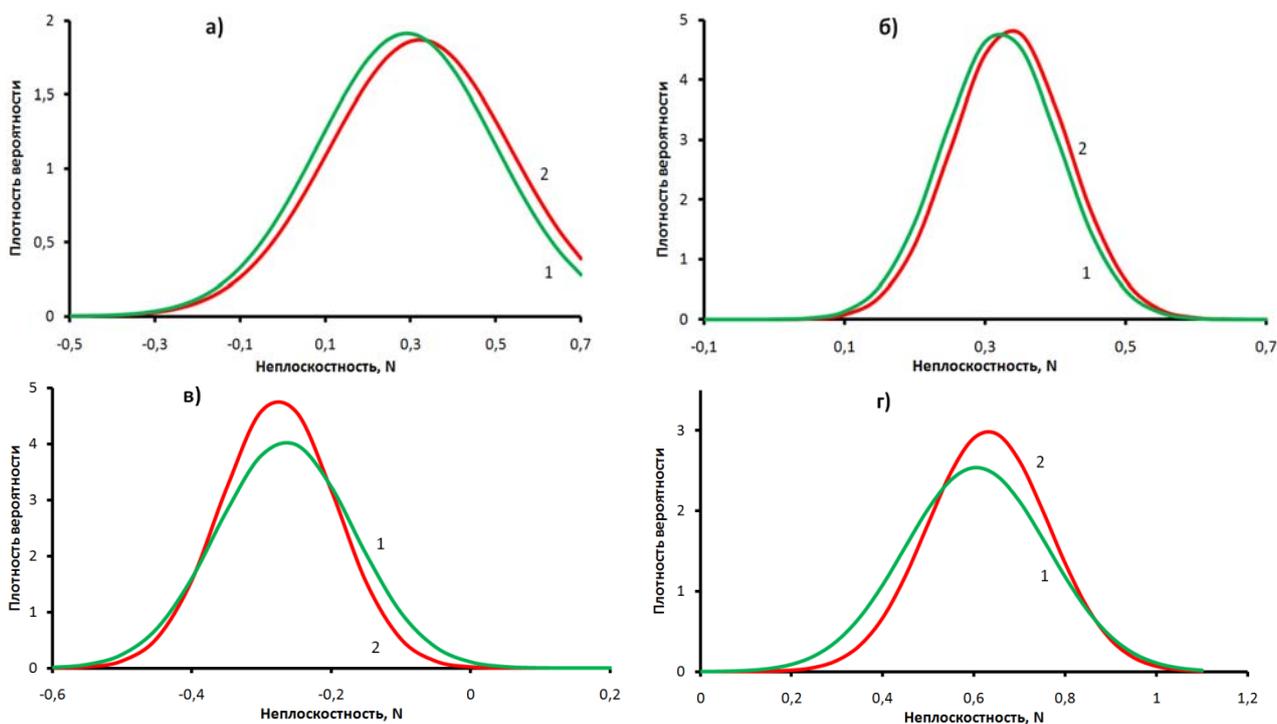


Рис. 2. Распределение «ножек» по интервалу допустимых значений неплоскостности:
а – общая ошибка N; б – локальный максимум Nmax;
в – локальный минимум Nmin; г – пик-впадина PV.
1 – детали, образовавшие качественное соединение; 2 – некачественное.

Аналогично сравнению величин неплоскостности «ножек» проанализируем неплоскостность второй поверхности, которая участвует в бесклеевом контактном соединении, – поверхности «корпуса». Для анализа были взяты детали в количестве 133 штук, из них 64 образовали качественное соединение и 69 некачественное. На рис. 3, а–в представлены графики нормального распределения «корпусов» в зависимости от величин общей и локальной неплоскостности. На рис. 3, г представлено нормальное распределение величин пиков-впадин PV.

Здесь в отличие от случая «ножек» наблюдается явное разделение по параметру неплоскостности между деталями, образовавшими качественное соединение, и деталями, соединение которых нарушилось в результате ТВО. Наиболее заметны различия на рис. 3 а, иллюстрирующем общую ошибку поверхностей.

Исходя из полученных статистических данных видно, что для увеличения выхода годных изделий необходимо уменьшить интервал допустимых значений неплоскостности оптических деталей. Для «корпуса» значение N должно располагаться в интервале (-0,15; 0,5), для Nmax (0; 0,23), Nmin (-0,17; 0). Значения PV должны быть меньше 0,37 кольца. Такие значения выбираются из соображения, что вероятность получения качественного изделия не ниже вероятности получения некачественного.

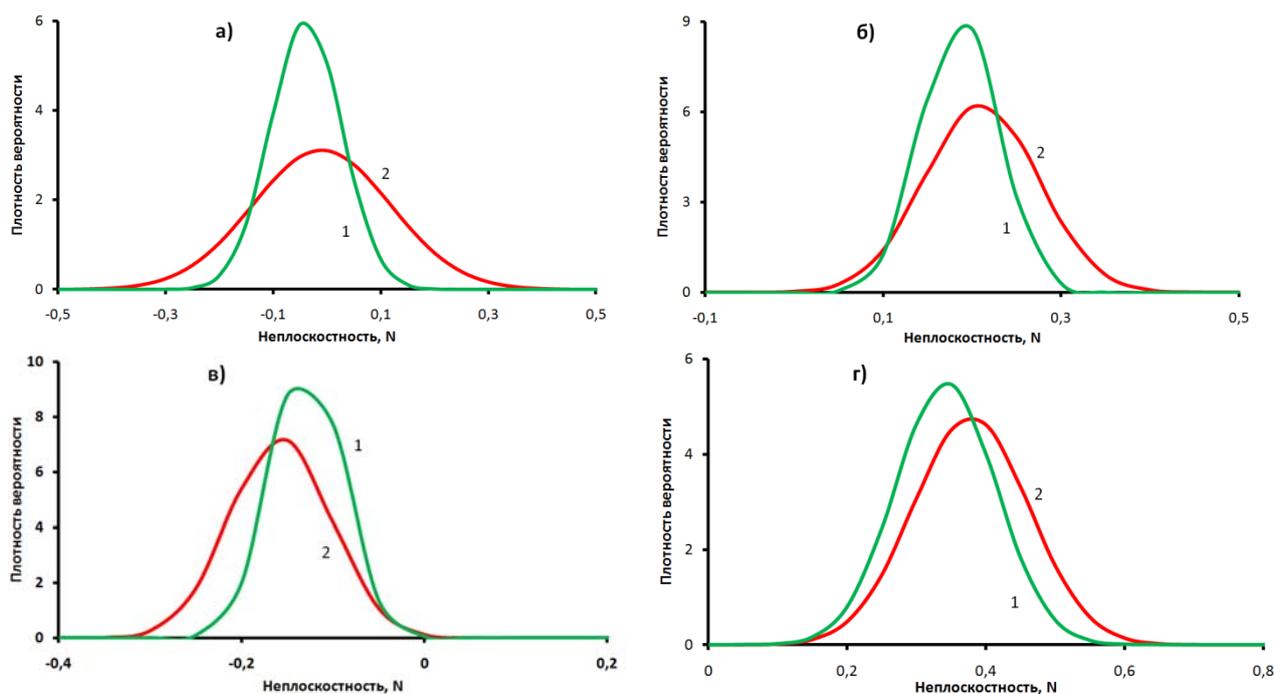


Рис. 3. Распределение «корпусов» по интервалу допустимых значений неплоскостности: а – общая ошибка N ;
 б – локальный максимум N_{\max} ; в – локальный минимум N_{\min} .
 1 – детали, образовавшие качественное соединение; 2 – некачественное.

Тот факт, что для корпусов получено значительное различие по неплоскостности между деталями, образовавшими качественное и некачественное соединения, может быть объяснено тем, что «корпус» гораздо жестче «ножки» и, следовательно, последняя гораздо легче деформируется.

Выводы

Разброс значений неплоскостности «ножки» в исследуемом интервале значений неплоскостности практически не влияет на качество и термоустойчивость ОК, хотя наблюдается некоторое смещение максимума вероятности образования качественного соединения в сторону меньших значений. Это объясняется значительно меньшей жесткостью «ножки» по сравнению с жесткостью «корпуса».

Для «корпусов» же распределения деталей, образовавших качественное соединение, и деталей, образовавших некачественное соединение, заметно отличается. В связи с этим для повышения относительного количества деталей, образовавших качественное соединение, необходимо ужесточить критерий отбора деталей по параметру неплоскостности.

Необходимо отметить, что в [6] указана оптимальная величина неплоскостности $N = 0,3$, $\Delta N = 0,1$ для деталей, подобных «корпусу» и «ножке». На основании проведенных исследований с целью повышения выхода годных изделий рекомендуется установить значения неплоскостности для «корпуса» $N = 0,1$, $\Delta N = 0,2$ вместо $N = 0,5$, $\Delta N = 0,3$, а для «ножки» оставить значения неплоскостности неизменными.

1. В.М.Золотарев. Оптический контакт. // Физическая энциклопедия. В 5-ти томах. — М.: «Советская энциклопедия». Главный редактор А.М.Прохоров. 1988.
2. С.С.Качкин. Роль воды в бесклеевом контактном соединении поверхностей неорганических диэлектриков. // Оптический журнал. 1997. №7. С. 51-53.
3. П.М.Елхин, Ю.В.Лисицын, О.Ф.Поздняков, В.С.Юдин. Роль адсорбированной воды в контактном взаимодействии полированных поверхностей оптического стекла. // ФХС. 1986. №5. С. 611-614.
4. С.С.Качкин, Г.В.Листратова, В.А.Рыжакова. Влияние масштабного и временного факторов на механическую прочность оптического контакта. // ОМП. 1989. №3. С. 46-48.
5. Ю.В.Лисицын. Исследование контактного соединения полированных оптических поверхностей. Диссертация кандидата технических наук. Л., 1976. С. 60-66, 136-148.
6. М.А.Окатов, Э.А.Антонов и др. Справочник технолога-оптика. // под. ред. М.А.Окатова, 2-е издание перераб. и доп. «Политехника». СПб.: 2004. 679 с.