

К РАСЧЕТУ ДЕФОРМАЦИЙ ПЛОСКИХ ОПТИЧЕСКИХ
ДЕТАЛЕЙ ПРИ БЛОКИРОВКЕ ПОЛИМЕРНЫМИ КЛЕЯМИ

В процессе изготовления оптических деталей важное место занимает операция блокировки-приклейки оптических деталей к наклейному приспособлению для их последующей обработки. В операциях блокировки важно добиться прочной приклейки оптической детали и минимальной величины остаточных напряжений, возникающих при остывании наклеенных оптических деталей. Эти остаточные напряжения деформируют оптическую деталь и сохраняются в ней в течение всего процесса обработки. После снятия обработанной детали с наклейного приспособления размеры детали искажаются, так как происходит высвобождение упругих деформаций, "замороженных" в детали. Особенно больших величин эти высвободившиеся деформации могут достигать при разблокировке тонкостенных оптических деталей (с отношением диаметра к толщине более 10).

Решение задачи о деформировании тонкостенной плоской оптической детали, изготовленной из стекла К 8, диаметром 3×10^{-2} м и толщиной $1 \cdot 10^{-3}$ м, применяемой как светофильтр, выполняем в два этапа. На первом этапе рассчитываем напряжения на границе полимерный клей - оптическая деталь, на втором - по этим данным - деформации оптической детали. Блокировка деталей производится с применением клеев-расплавов, которые наносятся на нагретый наклейник примерно при 390-400 К. Для расчета температурных напряжений на границе полимерный клей - оптическая деталь замерялась температура с помощью десяти хромель-копелевых термопар. По полученным данным строилась зависимость $T = a_1(t) + b_1(t)r + c_1(t)r^2$, где $a_1(t)$, $b_1(t)$, $c_1(t)$ - коэффициенты, зависящие от времени.

На первом этапе решается плоская квазистационарная задача упругости [1]. При заданных граничных условиях нами получен следующий вид компонент тензора напряжений:

$$\sigma_{rr} = \frac{E}{1-\nu^2} \left(\frac{u_r(R)}{R} - \frac{BR}{3} - \frac{CR^2}{8} \right) + \frac{E}{1-\nu^2} \left[\frac{Br}{3}(2+\nu) + \frac{Cr^2(3+\nu)}{8} \right] - (3\lambda + 2\mu)\alpha_T(T - T_0); \quad (1)$$

$$\sigma_{\theta\theta} = \frac{E}{1-\nu^2} \left(\frac{u_r(R)}{R} - \frac{BR}{3} - \frac{CR^2}{8} \right) + \frac{E}{1-\nu^2} \left[\frac{Br}{3}(1+2\nu) + \frac{Cr^2(3+\nu)}{8} \right] - (3\lambda + 2\mu)\alpha_T(T - T_0);$$

$$+ \frac{Cr^2(1+3\nu)}{8}] - (3\lambda + 2\mu)\alpha_T(T - T_0); \sigma_{r\theta} = \sigma_{\theta r} = 0, \quad (2)$$

где $B = \frac{b_1(3\lambda + 2\mu)\alpha_T}{\lambda + 2\mu}$, $C = \frac{2c_1(3\lambda + 2\mu)\alpha_T}{\lambda + 2\mu}$, r, θ - по-

лярные координаты; R - радиус оптической детали; α_T - коэффициент линейного теплового расширения клея; λ, μ - изотермические коэффициенты Ляме клея; u_r, u_θ - радиальные и угловые перемещения; T_0 - температура, до которой охлаждается деталь; E, ν - модуль продольной и поперечной упругости клея.

Напряжения σ_{rr} и $\sigma_{\theta\theta}$ на границе полимерный клей - оптическая деталь являются касательными напряжениями к приклеенной поверхности оптической детали. Результаты расчета по формулам (1) и (2) показали, что эти касательные напряжения распределяются вдоль радиуса оптической детали практически равномерно, $\sigma_{rr} = \sigma_{\theta\theta} = \tau_0 = 1,76$ МПа, с отклонением $\pm 0,08$ МПа. Для анализа напряженного состояния оптической детали, схематически представленной в виде тонкого диска, воспользуемся формулами для равномерно распределенной радиальной моментной нагрузки [2] (схема нагружения дана на рис. 1).

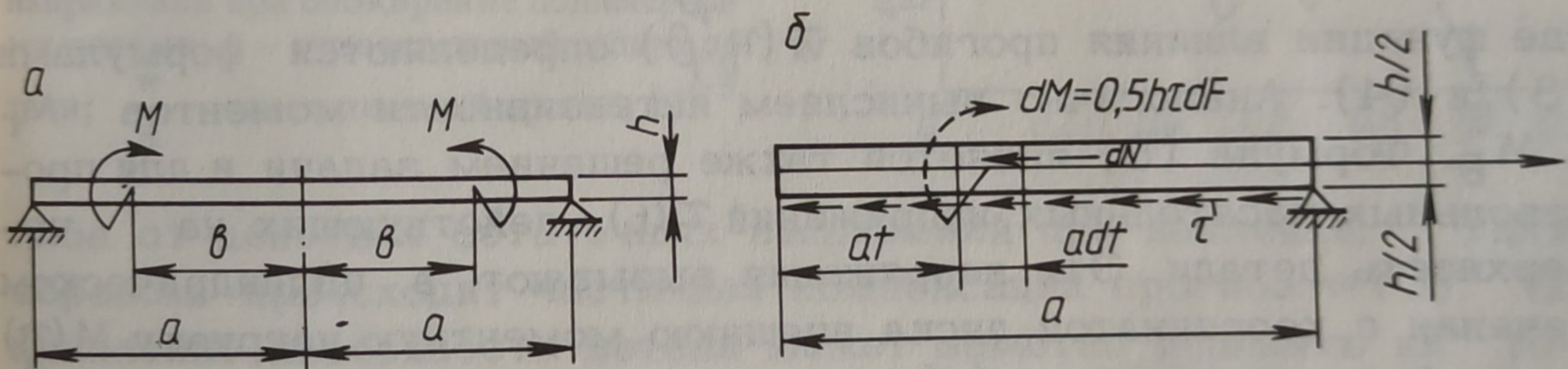


Рис. 1. Схема закрепления и нагружения моментной нагрузкой M (а); правая часть детали, нагруженная остаточными касательными напряжениями τ (б).

При этом зависимости для прогибов в центральной и наружной, по отношению к линии действия внешних моментов, зонах соответственно имеют вид:

$$w^I = \bar{w}^I M \quad \text{и} \quad w^{II} = \bar{w}^{II} M, \quad (3)$$

$$\text{где } \bar{w}^I = [2\eta^2(1 - \lambda_{11} \ln \eta) - \beta^2(\lambda_{11} + \nu_{11}\eta^2)] \frac{a^2}{4\lambda_{11}D} \quad (4)$$

при $0 \leq r \leq b$ или $0 \leq \beta \leq \eta$;

$$\bar{w}^{II} = [\nu_{11}(1 - \beta^2) - 2\lambda_{11} \ln \beta] \frac{\eta^2 a^2}{4\lambda_{11}D}$$

при $b \leq r \leq a$ или $\eta \leq \beta \leq 1$.

Здесь w - прогиб диска в точке с координатой радиуса r или для безразмерной координаты $\beta = r/a$; $\eta = b/a$ - безразмерный радиус окружности; M - моментная нагрузка на единицу длины окружности радиуса b ; a - радиус диска; λ_{11} и ν_{11} - безраз-

Табл. 1. Термоупругие свойства клея-расплава

Величины	Температура, К			
	293	303	313	323
E, МПа	290	217	103	51
ν	0,28	0,32	0,4	0,45
$\alpha_T, \text{K}^{-1} \cdot 10^{-5}$	23,0	23,0	29,2	52,0

мерные величины, зависящие от коэффициента Пуассона ν_C стекла

$$\lambda_{11} = 1 + \nu_C, \nu_{11} = 1 - \nu_C;$$

D - цилиндрическая жесткость диска при изгибе: $D = E_C h^3 / 12 \times (1 - \nu_C^2)$; E_C - модуль упругости стекла; h - толщина оптической детали.

Если на диск действует внешняя моментная нагрузка, распределенная в радиальном направлении по любому закону $M(\eta)$, ее влияние в каждой точке суммируется по принципу суперпозиции. Для прогибов пластины получаются следующие соотношения:

$$w(\beta) = a \int_0^\beta w^{II}(\eta, \beta) M(\eta) d\eta + \int_\beta^1 w^I(\eta, \beta) M(\eta) d\eta, \quad (5)$$

где функции влияния прогибов $\bar{w}(\eta, \beta)$ определяются формулами (3) и (4). Аналогично вычисляем интенсивности моментов M_r и M_θ . Формула (5) является также решением задачи и для произвольных касательных напряжений $\tau(t)$, действующих на поверхность детали. Эти напряжения вызывают в цилиндрическом сечении с координатой диска внешнюю моментную нагрузку $M(\eta)$ и мембранные усилия $N(\eta)$.

При равномерном распределении касательных напряжений моменты

$$M(\eta) = -0,5ha\tau_0(1 - \eta). \quad (6)$$

После подстановки этого уравнения в выражение (5) и интегрирования полученного выражения зависимость для прогибов оптической детали имеет вид:

$$w(\beta) = C' [19 + 7\nu_C - 6\beta^2(7 + 5\nu_C) + 32\beta^3(1 + \nu_C) - 9\beta^4(1 + \nu_C)],$$

$$\text{где } C' = \frac{\tau_0 a^3 (1 - \nu_C)}{48E_C h^2}.$$

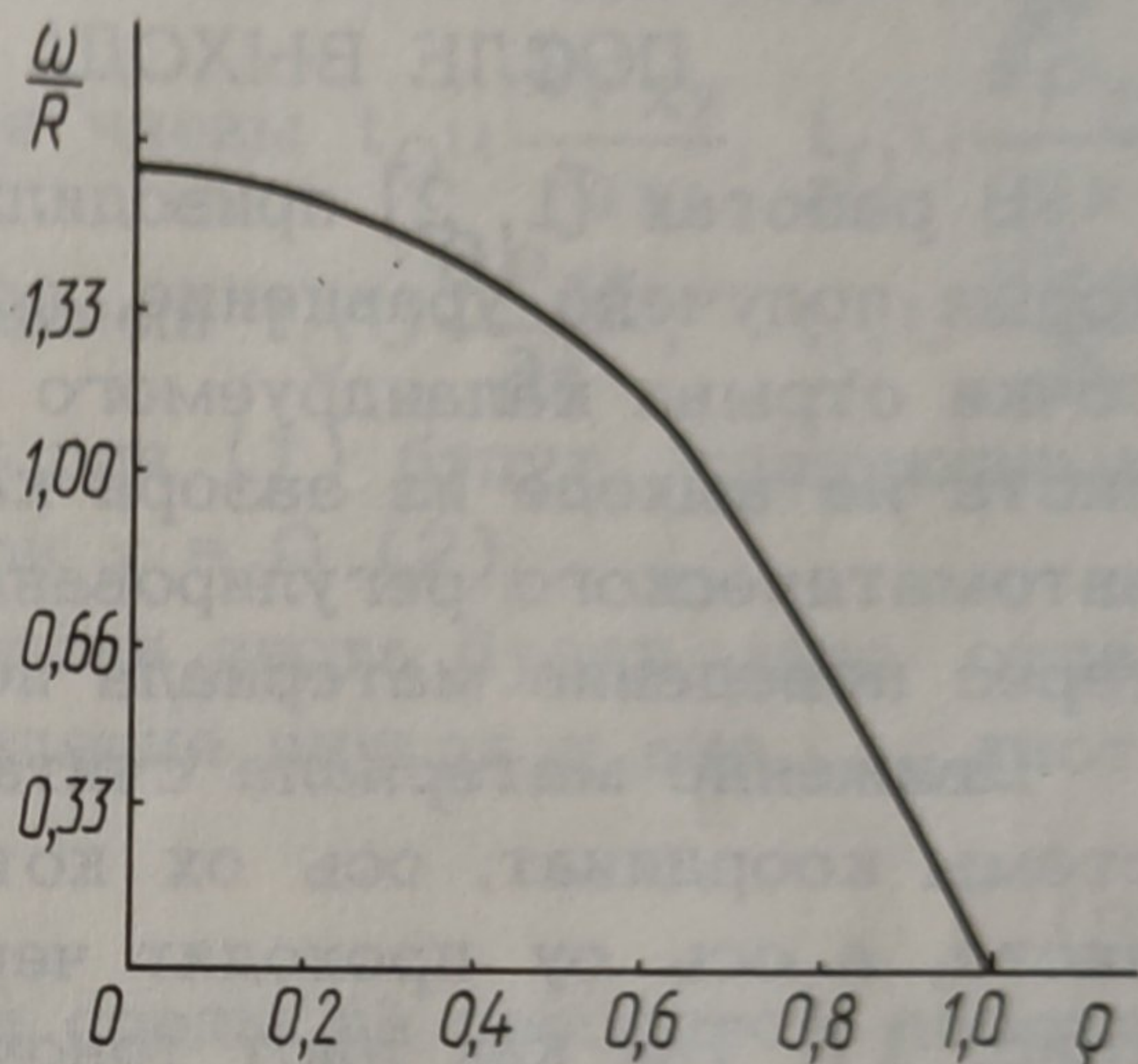
Результаты расчета отражены на рис. 2. Как следует из представленных данных, прогиб тонкостенной оптической детали от остаточных напряжений в центре $w(0)$ достигает $2,43 \times 10^{-5}$ м. При охлаждении приклеенной оптической детали две ее стороны имеют различные температуры, что приводит к теп-

ловому изгибу детали, который направлен в сторону, противоположную прогибу от действия остаточных напряжений на границе клей - стекло, $w(0)$. На основании уравнений, приведенных в работе [3], для теплового прогиба в центре плоской оптической детали получена формула

$$w_T(0) = \frac{\alpha_C \Delta T a^2}{2h}.$$

Расчет по этой формуле показывает, что при $R = a = 1,5 \times 10^{-2}$ м, $h = 1 \cdot 10^{-3}$ м и разности температур между поверхностями в 5° тепловой прогиб в центре оптической детали может достигать $5 \cdot 10^{-6}$ м. Это составляет 20% величины про-

Рис. 2. Распределение прогибов оптической детали под действием остаточных напряжений при блокировке полимерными клеями: ρ - относительный радиус детали; $\frac{w}{R}$ - относительный прогиб, 10^{-3} .



гиба от действия остаточных напряжений при наклейке. Таким образом происходит частичная компенсация прогиба $w(0)$. Искажение поверхности детали может заметно повлиять на точность ее обработки, что необходимо учитывать при совершенствовании технологического процесса. Величины α_C , ν_C , E_C для стекла марки К 8 взяты из ГОСТ 13659-68.

Л и т е р а т у р а

1. Коваленко А.Д. Основы термоупругости. - Киев, 1970. - 307 с.
2. Грач С.А. Расчет круглых пластин. - Фрунзе, 1980, ч. II. - 456 с.
3. Тимошенко С.П., Войновский-Кригер С. Пластины и оболочки. - М., 1966. - 635 с.