

## **Определение термонапряженного состояния смотровых окон пищевых аппаратов, изготовленных из триплексов**

Рудяк Ю.А.  
v\_stetsenko\_v@mail.ru

*Тернопольский государственный медицинский университет им. И.Я. Горбачевского*

*В статье приведены данные по определению параметров напряженно-деформированного состояния (НДС) смотровых окон пищевых аппаратов, изготовленных из триплексов. Диапазон температур при исследовании: от  $+20^{\circ}\text{C}$  до  $-60^{\circ}\text{C}$ . Рассмотрены варианты четырех видов триплексов – гомогенных и гетерогенных, с обрамлением и без. Исследования производились поляризационно-оптическим методом, при этом оптическую анизотропию измеряли компенсационным методом Сенармона, поскольку для материалов с низкой оптической чувствительностью, таких, как неорганическое силикатное стекло, метод полос не дает необходимой точности. На основании полученных экспериментальных результатов сделаны выводы о влиянии обрамления и гетерогенности на термонапряженное состояние смотровых окон пищевых аппаратов, изготовленных из триплексов.*

**Ключевые слова:** пищевые аппараты, смотровые окна, триплекс, поляризационно-оптический метод.

Постановка проблемы. Смотровые окна аппаратов пищевых производств изготавливают из прозрачных конструкционных материалов, таких как силикатное неорганическое стекло, органические стекла, другие полимерные материалы. Для повышения прочностной надежности смотровых окон пищевых аппаратов, работающих в различных температурных режимах, для их изготовления применяют гомогенные и гетерогенные триплексы. Триплексы, как конструкционные элементы машин, находят широкое применение в авиастроении (иллюминаторы самолетов), судостроении (иллюминаторы надводных судов и подводных лодок), машиностроении (стеклянные элементы повышенной надежности различных машин). Именно многослойная структура имеет целый ряд преимуществ, с точки зрения прочностной надежности и стойкости к разрушению. Однако, при изменении температуры таких конструкционных комплексов, вследствие разности величин коэффициентов линейного расширения (КЛР) возникает концентрация напряжений в краевых зонах клеевых соединений. Поэтому исследование термонапряженного состояния триплексов, из которых изготовлены смотровые окна пищевых аппаратов, является важной практической задачей.

Анализ исследований и публикаций. Работы многих исследователей посвящены разработке и применению методов определения НДС и граничного состояния различных элементов машин и аппаратов пищевого машиностроения [1,2,3,4]. Причем на прочность изделий из конструкционного стекла, органических стекол, различных полимеров кроме чисто механических факторов, значительное влияние оказывают физические факторы, и в частности, температура. Поэтому для задач инженерной практики важно определять термонапряженное состояние таких элементов машин и аппаратов [1,3] Определению НДС элементов машин с концентраторами напряжений посвящены как теоретические, так и экспериментальные работы [4,5,6]. При исследовании натуральных образцов широкие возможности предоставляют экспериментальные методы механики [5,6]. Одними из самых действенных и эффективных являются оптические методы, среди которых особое место занимает поляризационно-оптический метод исследования НДС или фотоупругость [5].

Постановка задачи. Экспериментально исследовать термонапряженное состояние гомогенных и гетерогенных триплексов, как базовых элементов окон аппаратов пищевой промышленности.

Материалы и результаты исследования. Проведены исследования на четырех образцах гомогенных и гетерогенных триплексов, с обрамлением и без него. С помощью поляризационно-оптического метода определялась величина оптической анизотропии, которая по формулам фотоупругости пересчитывалась в параметры НДС. Триплексы имели различное конструктивное исполнение.

Гомогенный триплекс, представляющий собой следующий конструктивный комплекс: неорганическое силикатное стекло – клеяющий слой – неорганическое силикатное стекло (рис.1). Размеры триплекса:  $100 \times 14 \times 10$  мм

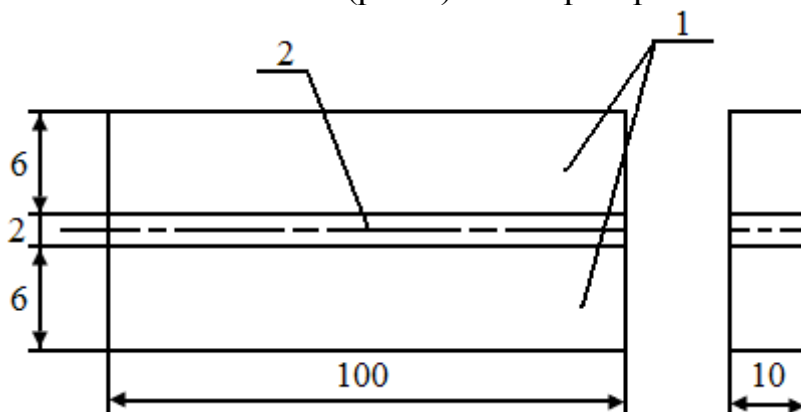


Рис.1. Гомогенный триплекс без обрамления (образец 1)

1. Неорганическое силикатное стекло
2. Склеивающий слой
3. Гомогенный триплекс с обрамлением: неорганическое силикатное стекло – склеивающий слой – неорганическое силикатное стекло, обрамление (рис. 2).

Размеры триплекса:  $100 \times 4 \times 0,1$  , толщина обрамления 2мм.

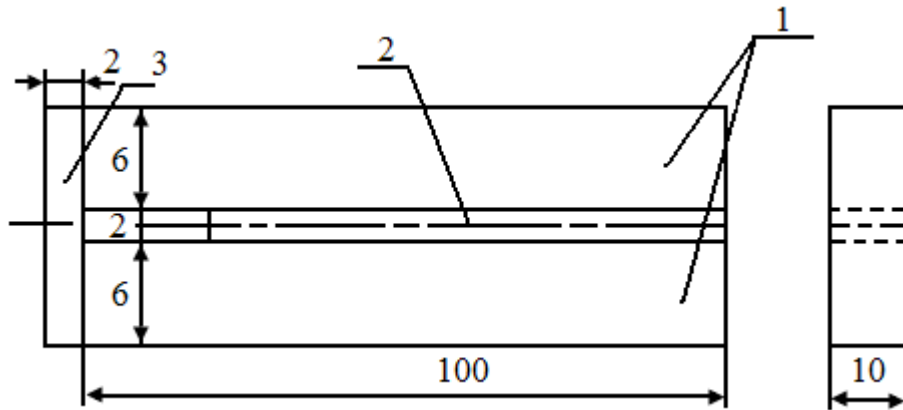


Рис.2. Гомогенный триплекс с обрамлением (образец 2)

1. Неорганическое силикатное стекло
2. Склеивающий слой
3. Обрамление
4. Гетерогенный триплекс с обрамлением: неорганическое силикатное стекло – склеивающий слой – органическое стекло (рис. 3). Размеры триплекса:  $100 \times \times 0,1$  . Толщина слоя неорганического силикатного стекла 5мм, склеивающего слоя – 2мм, органического стекла - 2мм.

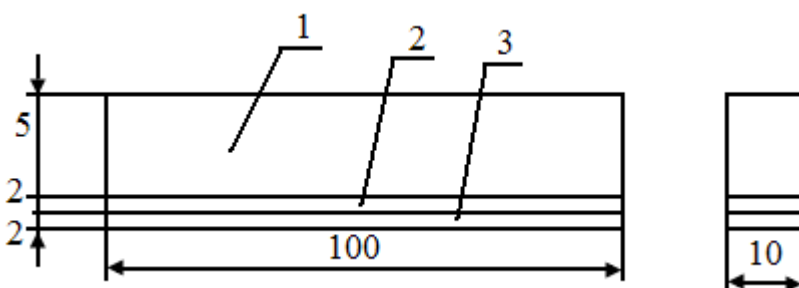


Рис.3. Гетерогенный комплекс без обрамления (образец 3)

1. Неорганическое силикатное стекло
2. Склеивающий слой
3. Органическое стекло
5. Гетерогенный триплекс с обрамлением: неорганическое силикатное стекло – склеивающий слой – органическое стекло (рис. 4). Размеры триплекса:  $100 \times \times 0,1$  . Толщина слоя неорганического силикатного стекла 5мм, склеивающего слоя - 2мм, органического стекла - 2мм, обрамления - 2мм.

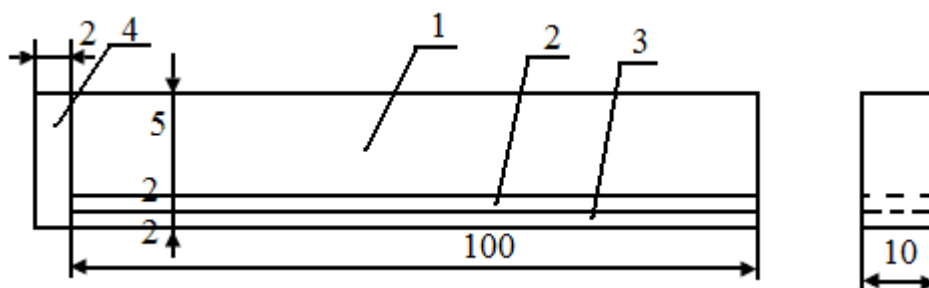


Рис.4. Гетерогенный комплекс с обрамлением (образец 4)

1. Неорганическое силикатное стекло
2. Склеивающий слой
3. Органическое стекло
4. Обрамление.

Измерялись параметры оптической анизотропии для фиксированных температур:  $T = 213K, 233K, 253K, 273K, 293K (-60^{\circ}C, -40^{\circ}C, -20^{\circ}C, 0^{\circ}C, 20^{\circ}C)$  и при этом по формулам поляризационно-оптического метода определялись параметры НДС. Температурные режимы реализовывались с помощью специально созданных криокамер. Оптическую анизотропию измеряли с помощью компенсационного метода Сенармона. Измерения производились на координатно-синхронном поляриметре КСП-7 в монохроматическом свете с длиной волны  $\lambda = 466\text{нм}$ . Получали величину разности оптического хода лучей  $\delta$  и угол изоклины  $\varphi$ , что позволяло непосредственно определять касательные напряжения  $\tau$ . Результаты экспериментов приведены в таблице 1.

Таблица 1. Соотношения величин максимальных касательных напряжений в краевых зонах для различного конструкционного исполнения триплексов.

№ п/п	T, K/°C, град	$\frac{\tau_{\text{max}2}}{\tau_{\text{max}1}}$	$\frac{\tau_{\text{max}4}}{\tau_{\text{max}3}}$	$\frac{\tau_{\text{max}3}}{\tau_{\text{max}1}}$	$\frac{\tau_{\text{max}4}}{\tau_{\text{max}2}}$
1	213/ -60	2,65	2,52	3,96	3,77
2	233/ -40	2,57	2,44	3,85	3,66
3	253/ -20	2,00	2,00	3,33	2,66
4	273/ 0	1,27	1,27	3,06	2,33
5	293/ +20	1,00	1,00	1,00	1,00

Анализируя данные таблицы 1, видим, что величины отношения касательных напряжений в различных образцах максимальны для самой низкой температуры, реализованной в экспериментах ( $t = -60^{\circ}C$ ) и, постепенно, уменьшаются при уменьшении степени охлаждения ( $t = -40^{\circ}C, t = -20^{\circ}C, t = 0^{\circ}C$ ), при этом при комнатной температуре ( $t = 20^{\circ}C$ ) все соотношения равны. Причем обрамление увеличивает величину максимальных касательных напряжений (напряжений скола или отслоения) в 2,65 раза, гетерогенных – в 2,52 раза (при максимальном охлаждении до  $t = -60^{\circ}C$ ). Это

можно объяснить «цементирующим» эффектом обрамления, которое изменяет граничные условия на краю триплекса, что вместе с различием КЛР элементов триплекса, включая обрамление, и вызывает указанный эффект. Гетерогенность за счет существенного различия величин КЛР для неорганического и органического стекла дает максимальную величину отношения касательных напряжений в краевых зонах (3,96 при  $t = -60^{\circ}C$ ).

Гетерогенность совместно с обрамлением дает величину соотношения касательных напряжений 3,77 (при  $t = -60^{\circ}C$ ).

Выводы. 1. Изучено с помощью поляризационно-оптического метода термонапряженное состояние триплексов, как базовых элементов смотровых окон пищевых аппаратов.

2. Оценено влияние гетерогенности и обрамления на величины касательных (скальвающих) напряжений в термонапряженных триплексах.

3. Полученные результаты имеют практическое значение для инженерной практики при проектировании смотровых окон пищевых аппаратов, подверженных широкому диапазону изменения температур.

### Список литературы

1. Машиностроение. Энциклопедия. Машины и оборудование пищевой промышленности. ТIV-17 [Текст] / С.А. Мачихин, В.Б. Акопян, С.Т. Мачихина. – М.: Машиностроение, 2003. – 736с.
2. Головацкий В.А. Совершенствование процессов и аппаратов для переработки пищевого сырья [Текст] / Елб.: НИЭУиД, 2008. – 123с.
3. Куликова М.Г., Карпов А.В. Инновационные методы развития предприятий пищевой промышленности [Текст] // технологии и оборудование химической, биотехнологической и пищевой промышленности: Бийск: Издательство Алтайского государственного технологического университета, 2009. – С. 362-365.
4. Энергосберегающие процессы и аппараты в пищевых и химических производствах (ЭПАХПП-2011) / Материалы международной научно-технической конференции. – Воронеж, 2011.
5. Александров А.Я. Поляризационно-оптические методы механики деформируемого тела [Текст] / А.Я. Александров, М.Х. Ахметзянов.-М.: Наука, 1973-576с.
6. Фриштер Л.Ю. Расчетно-экспериментальный метод исследования НДС составных конструкций в зонах концентрации напряжений: автореф. дис. на соиск. науч. степени докт. физ.-мат. наук / Фриштер Л.Ю. – Москва, 2009.-40с.

# **Determination of thermal stress state of the viewing windows of food machines, made of triplex**

Rudyak U.A.

*Ternopil State Medical University. IJ Gorbachev*

*The article presents data on the characterization of the stress-strain state (SSS) viewing windows food machines, made of laminated glass. Range during the study: from + 10<sup>0</sup> C to – 10<sup>0</sup> C. The variants of the four types of triplets - homogeneous and heterogeneous, with or without a frame. Investigations were carried out polarization-optical method, and the optical anisotropy was measured by the compensation method Senarmona as for materials with low optical sensitivity, such as inorganic silicate glass, strip method does not provide the necessary accuracy. Based on the experimental results suggest the influence of heterogeneity on the frame and thermal stress state food inspection windows machines, made of laminated glass.*

**Keywords:** food aids, viewing windows, triplex, polarization-optical method.