

05;12

Упругость криоизоляционного пенополимерного покрытия в температурном диапазоне 8–293 К

© Л.А. Булавин, Ю.Ф. Забашта, А.Я. Фридман, А.И. Костюк

Киевский государственный университет им. Тараса Шевченко,
252127 Киев, Украина

(Поступило в Редакцию 12 сентября 1997 г. В окончательной редакции 20 апреля 1998 г.)

Разработана и создана установка для исследования динамических деформационных свойств криоизоляционных покрытий в интервале температур 8–293 К. В качестве объекта исследования выбран один из видов криоизоляционного материала — пенополиуретан. Проведены пробные измерения пакета пенополиуретана (металлическая подложка с пенополиуретановым покрытием) на частоте 0.01 Hz в интервале температур 8–293 К. На температурной зависимости динамического модуля сдвига обнаружен скачок модуля (на два порядка) в диапазоне температур 54–63 К. Эта особенность связывается с переходом в твердую фазу воздуха, содержащегося в порах пенополиуретана, что приводит к цементированию образовавшимся азотным и кислородным ”льдом” полиуретанового каркаса покрытия.

Криоизоляционное пенополимерное покрытие, используемое в авиационной и космической технике, как правило, применяется для изоляции баков содержащих жидкий водород. Однако, как известно авторам, в литературе практически отсутствуют работы о свойствах криоизоляционных пенополимерных покрытий в интервале низких температур, содержащих температуру жидкого водорода. При конструировании и эксплуатации летательных аппаратов в первую очередь необходимы данные об упругости криоизоляционного материала в указанном интервале температур. В данной работе описан метод, созданный авторами для проведения таких измерений в области температур 8–293 К.

Для исследования динамических деформационных свойств криоизоляционных покрытий в интервале температур 8–293 К была разработана и создана установка (рис. 1), в состав которой входит криостатная система (в том числе гелиевый криостат КГ-100), обратный крутильный маятник [1], устройство для подъема криостата, система переходных фланцев, рабочий ”стакан”, находящийся в гелиевой ванне, в который вводилась рабочая часть маятника с образцом. Как видно из рис. 1, на массивной металлической плите 2 монтируется измерительная головка обратного крутильного маятника с инерционными стержнями 1. На измерительную головку надевается стеклянный вакуумный колпак 7, основание которого с помощью эластичной и достаточно толстой резины (12 mm) 13 герметично прижато к плите. Через круговое отверстие в плите проходит стержень с образцом 5. Стержень с образцом находится в трубе маятника, соединенной сваркой с системой переходных фланцев (средний фланец), которая в свою очередь верхним фланцем герметично с помощью вакуумных резиновых прокладок 12 крепится снизу к металлической плите.

Труба с проходящим в ней стержнем с образцом 5 помещается в рабочий ”стакан” 6 гелиевого криостата 9, соединенного сваркой с нижним фланцем, который также герметично крепится к фланцу гелиевого криостата.

”Стакан” изготовлен из нейзильбера и одет в медную рубашку (до 2/3 высоты) для создания теплового моста. На внешнюю часть ”стакана”, покрытого тонкой, термически устойчивой изоляцией, последовательно намотаны термометр сопротивления и нихромовая нагревательная спираль 8 с последующей изоляцией.

На нижнем фланце располагаются трубки для заправки и выхода гелия. Заливка гелия производится из транспортного дьюара с помощью переливных сифонов [2].

Вся система (полость стакана, пространство под колпаком и внутри труб 3, 4 с переходными фланцами) полностью герметизирована с помощью вакуумных прокладок 10–12 и прижимных винтов и откачивается до необходимого давления (0.12 mm Hg) с помощью форвакуумного насоса. Откачка воздуха производится с целью избежания оледенения рабочей части маятника с образцом при понижении температуры и дальнейшего криоподсоса воздуха в систему извне. Следует отметить, что создание сравнительно небольшого вакуума обусловлено специфическим строением пенополимеров: сильный перепад давления мог бы привести к нарушению целостности пор последних.

Для вертикального перемещения криостата использовалось подъемное устройство 14. После заливки гелия в гелиевую ванну криостата (криостат предварительно охлаждался жидким азотом, подаваемым в азотную ванну) минимальная температура 6–8 К устанавливалась за 190 min. Затем производилось постепенное повышение температуры с определенной скоростью. Достижение заданной температуры в рабочей камере ”стакана” и ее стабилизация осуществлялись с помощью электронагревателя 8 и термометра сопротивления, который является одним из плеч моста переменного тока. Схема автоматического регулирования температуры описана в [1].

Температура среды, в которой находился образец, измерялась полупроводниковым термометром ТПК-N436-68, изготовленным в СКТЬ ИПАН Украины.

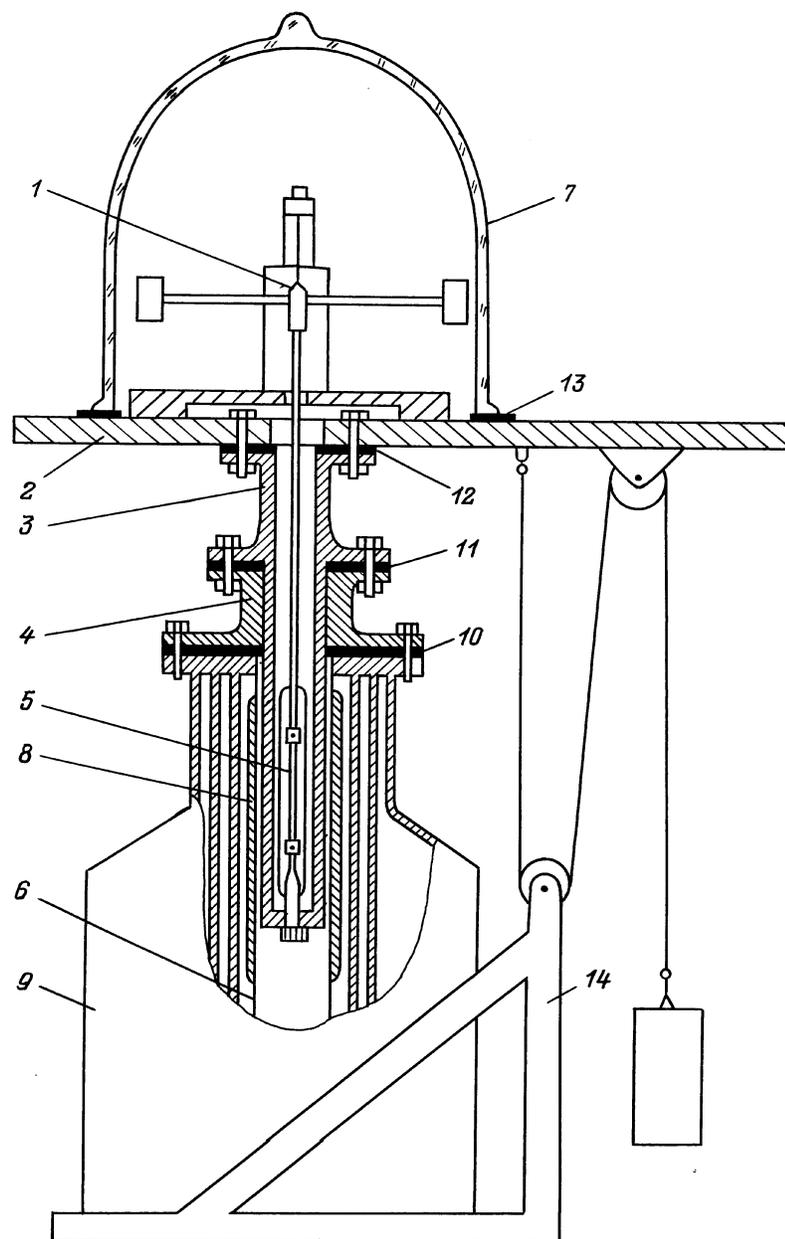


Рис. 1. Установка для исследования динамических деформационных свойств криоизоляционных пенополимерных покрытий в интервале температур 8–293 К.

точность стабилизации температуры следующая: 4.00–0.05, 30.00–0.10, 100.00–0.50, 200.00–0.80 К.

В качестве объекта исследования выбран один из видов криоизоляционного материала — пенополиуретан (закрытая пористость 90%). Данный материал был нами ранее экспериментально исследован методом внутреннего трения с помощью обратного крутильного маятника в интервале температур 93–373 К [3].

На созданной нами установке для исследования динамических деформационных свойств при сверхнизких температурах были проведены пробные измерения

упругости "пакета" пенополиуретана (алюминиевая подложка с пенополиуретановым покрытием) — партия ЭКГ-532-04. Рабочая частота 0.01 Hz, температурный интервал 8–300 К. Известно, что упругие свойства, как и другие физические свойства материала, определяются структурой последнего. Известно также, что пенопласт в виде блока и пенопласт, нанесенный на подложку в качестве покрытия, обладают различной структурой. Наша цель — измерить упругие характеристики последнего. Соответственно этой цели был выбран следующий способ изготовления образцов.

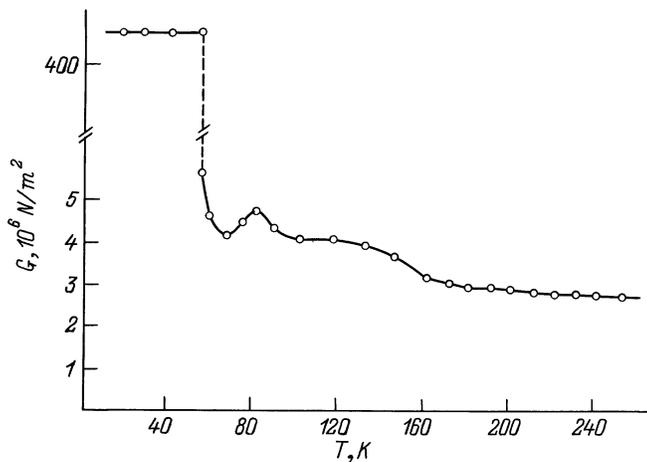


Рис. 2. Температурная зависимость динамического модуля сдвига G пакета пенополиуретана.

По технологии, используемой при изготовлении изделия, на металлическую подложку наносится слой пенопласта. Их образованного "пакета" (подложка + покрытие) вырезались образцы в виде параллелепипедов таким образом, что их длинная сторона располагалась вдоль толщины листа — "пакета". Соответственно полученные образцы, как и "пакет", состояли из подложки (толщина 4.3 mm) и пенопласта (толщина 30 mm). При испытаниях образец устанавливался в захваты таким образом, чтобы граница подложка-пенопласт оказывалась заподлицо с верхней торцевой поверхностью нижнего захвата.

В результате измерений получали зависимость φ от t — угла поворота маятника от времени. Для определения модуля сдвига G из этой зависимости использовалась традиционная теория крутильного маятника [4]. Уравнения движения маятника записывались в виде

$$I \frac{d^2\varphi}{dt^2} = -C\varphi, \quad (1)$$

где I — момент инерции грузов, C — крутильная жесткость системы (подвес + образец).

Учитывая, что $\varphi = \varphi_0 e^{i\omega t}$, для крутильной жесткости C из равенства (1), получали выражение

$$C = \omega^2 I. \quad (2)$$

Жесткость системы C записывали в виде суммы

$$C = C_1 + C_2, \quad (3)$$

где C_2 — жесткость системы без образца, C_1 — жесткость образца.

Величину C_2 определяли экспериментально: в отсутствие образца жесткость образца C_1 , определенная из эксперимента, в соответствии с формулами (2), (3) оказывается равной

$$C_1 = \omega^2 I - C_2. \quad (4)$$

Для установления связи между модулем сдвига G и жесткостью C_1 использовалось решение задачи теории упругости о кручении стержня с прямоугольным сечением [5]

$$C_1 = \frac{P\alpha JG}{l}, \quad (5)$$

где J — момент инерции сечения; l — рабочая длина образца; α — коэффициент, учитывающий депланацию сечения и зависящий от соотношения между поперечными размерами образца.

Полученные указанным путем величины модуля сдвига G в зависимости от температуры представлены на рис. 2. Главной особенностью этой кривой является скачок модуля примерно на два порядка при температуре 57 К. Поскольку этот скачок происходит в интервале замерзания азота и кислорода воздуха, то, очевидно, можно однозначно утверждать, что этот скачок обусловлен указанным явлением. Несмотря на предпринятые нами меры по отсосу воздуха из системы, можно сказать, что в принципе этот скачок может быть обусловлен внешним оледенением образца. Для проверки этого предположения нами был поставлен контрольный эксперимент на образце, изготовленном из материала подложки. На соответствующей зависимости $G(T)$ в интервале температур, где наблюдался скачок модуля для пакета (рис. 2), скачок модуля отсутствует. Поэтому можно сделать вывод, что наблюдаемый скачок модуля обусловлен переходом в твердую фазу воздуха, содержащегося в порах пенополиуретанового покрытия, что приводит к цементированию образовавшимся азотным и кислородным "льдом" полиуретанового каркаса покрытия. При этом в порах пенополиуретана возникает вакуум и криоизоляционное покрытие должно приобрести свойства вакуумной изоляции.

Обнаружение нами экспериментального факта возрастания модуля и сопутствующего ему улучшения теплоизоляционных свойств покрытия является дополнительным аргументом в пользу целесообразности использования пенополимерных покрытий для изоляции баков с жидким водородом.

Список литературы

- [1] Голик А.З., Лопан А.Ф. // Укр. физ. журн. 1967. Т. 12. № 6. С. 991–999.
- [2] Формозов Б.И. Экспериментальная техника в физике сверхпроводников. Киев: Высшая школа, 1978. 198 с.
- [3] Stegnyy A.I., Zabasta Yu.F., Fridman A.Ya. // Int. J. Hydrogen Energy. 1995. Vol. 20. N 5. С. 401–403.
- [4] Постников В.С. Внутреннее трение в металлах. М.: Металлургия, 1969. 350 с.
- [5] Ландау Л.Д., Лифшиц И.М. Теория упругости. М.: Мир, 1982. 250 с.