

СООБЩЕНИЯ  
ОБЪЕДИНЕННОГО  
ИНСТИТУТА  
ЯДЕРНЫХ  
ИССЛЕДОВАНИЙ

ДУБНА



С 3935  
Б-823

29/ix-75

8 - 8991

Ю.Т.Борзунов, Л.Б.Голованов, В.Л.Мазарский,  
А.П.Цвинев

3760/2-75

ТЕХНОЛОГИЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ  
КРИОГЕННЫХ МИШЕНЕЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ  
ЛАВСАНА И ПЕНОПЛАСТА

**1975**

8 - 8991

Ю.Т.Борзунов, Л.Б.Голованов, В.Л.Мазарский,  
А.П.Цвинев

ТЕХНОЛОГИЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ  
КРИОГЕННЫХ МИШЕНЕЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ  
ЛАВСАНА И ПЕНОПЛАСТА

Объединенный институт  
ядерных исследований  
БИБЛИОТЕКА

Борзунов Ю.Т., Голованов Л.Б., Мазарский В.Л., Цвинев А.П. 8 - 8991

Технология изготовления криогенных мишеней с использованием лавсана и пенопласта

Обоснован выбор материала для создания криогенных мишеней. Описаны технология изготовления внутреннего сосуда мишени из лавсановой пленки и технология изготовления вакуумного кожуха мишени из пенопласта и лавсановой пленки. Приведены схема конструкции вакуумного кожуха и схема прибора для испытаний элементов вакуумного кожуха на устойчивость.

Работа выполнена в Лаборатории высоких энергий ОИЯИ.

Сообщение Объединенного института ядерных исследований  
Дубна 1975

В физике высоких энергий широко используются криогенные мишени. Они, как правило, состоят из внутреннего сосуда, заполняемого криогенной жидкостью, и вакуумного кожуха, изолирующего внутренний сосуд от теплопритока из окружающей среды. Чтобы уменьшить взаимодействие элементарных частиц, проходящих через криогенную жидкость, со стенками мишени и тем самым снизить фон, необходимо, чтобы стенки мишени имели минимальное количество вещества.

Толщина стенок определяется прочностными характеристиками материалов, из которых сделана мишень, а также размером, формой и конструкцией сосудов мишени. Внутренний сосуд работает при криогенной температуре и рассчитан на давление, равное одной атмосфере, т.к. внутри сосуда находится криогенная жидкость при давлении, близком к атмосферному, а снаружи - вакуум. Вакуумный кожух должен выдерживать внешнее атмосферное давление и работает, таким образом, на устойчивость. Поэтому стенки вакуумного кожуха значительно толще стенок внутреннего сосуда <sup>1/</sup>.

В настоящее время внутренние сосуды обычно изготавливаются из лавсановой пленки, а вакуумные кожухи во многих случаях представляют собой комбинацию лавсановой пленки и металлического каркаса <sup>1/</sup>. Такой комбинированный кожух имеет минимальное количество вещества стенок в угле, который ограничен каркасом, а это не всегда отвечает требованиям эксперимента. В данной работе рассматривается возможность изготовления криогенных мишеней, имеющих минимальное количество вещества стенок в большом пространственном угле.

## Выбор материала стенок

С точки зрения прочности материал стенок мишени должен выдерживать внешнее или внутреннее давление, равное 1 атм, а для улучшения условий проведения физического эксперимента иметь малый удельный вес и небольшое число Z. Количество вещества материала стенки мишени, выраженное в радиационных единицах /р.е./, как раз и учитывает перечисленные выше факторы:

$$q = \frac{s \cdot \gamma}{x_0},$$

где  $s$  - толщина стенки из расчета на прочность или устойчивость, см;  $\gamma$  - удельный вес материала стенки, г/см<sup>3</sup>;  $x_0$  - радиационная длина материала стенки, г/см<sup>2</sup>. Она численно равна толщине вещества, при которой энергия электрона уменьшается в  $e$  раз вследствие потерь на тормозное излучение<sup>/2/</sup>.

В табл. 1 приведены толщины равнопрочных стенок для различных материалов и количество вещества в радиационных единицах. При расчете толщины стенок цилиндров, изготовленных из пенопласта, принималось, что материал работает только на сжатие.

Из таблицы видно, что минимальное количество вещества могут иметь стенки мишеней, у которых внутренний сосуд выполнен из лавсана, а вакуумный кожух - из пенопласта.

Изготовление внутренних сосудов, а также элементов вакуумного кожуха из лавсана известно достаточно широко<sup>/1,6,13/</sup>. Однако технология изготовления лавсановых обечаек и донышек требует дальнейшего совершенствования. Использование пенопласта в качестве конструкционного материала для изготовления вакуумного кожуха затруднено, т.к. пенопласт не имеет вакуумной плотности. Одним из возможных путей решения этой задачи является совместное использование пенопласта и лавсановой пленки.

Таблица 1.

Толщины равнопрочных стенок и количество вещества в радиационных единицах для цилиндров  $\varnothing$  100 мм, работающих под внутренним и под наружным давлением 1 кг/см<sup>2</sup>

Материал	Радиационная длина, г/см <sup>2</sup>	Удельный вес, Г/см <sup>3</sup>	Толщина стенки и количество вещества			
			внутреннее давление		наружное давление	
	[2,3]	[4,5]	мм	р.е.	мм	р.е.
Нержавеющая сталь Х18Н10Т	13,9	7,90	0,035	0,0020	0,80	0,0455
Алюминий АМЦ	24,3	2,70	0,100	0,0011	1,20	0,0130
Медь МЗ	13,0	8,96	0,0650	0,0045	1,00	0,0670
Титан ВТ5-1	16,7*	4,50	0,026	0,0007	1,01	0,0274
Стеклопластик на основе эпксиодно-фенольной смолы	29,8*	1,90	-	-	1,60	0,0102
Стеклопластик на основе полиэфирной смолы	30,5*	1,90	-	-	1,46	0,0096
Стеклопластик на основе фенольно-формальдегидной смолы	30,8*	1,70	-	-	1,77	0,0098
Текстолит	42,2*	1,35	-	-	2,75	0,0085
Оргстекло	41,8*	1,30	-	-	3,52	0,0110
Лавсан (полиэтилентерефталат)	43,3	1,38	0,008	0,0005	3,26	0,0104
Пенопласт, ПС-1	45,5*	0,10	-	-	14,70	0,0032
Пенопласт, ПВХ-1	27,8*	0,10	-	-	18,50	0,0068
Пенопласт, ППУ-3	40,0*	0,10	-	-	14,70	0,0037

\* Радиационная длина рассчитана авторами

### Изготовление донышек и обечаек из лавсановой пленки

Лавсановая пленка, изготавливаемая из полиэтилен-терефталата, обладает высокой прочностью и достаточной эластичностью при низких температурах<sup>/11/</sup>. Для изготовления из нее донышек определенной конфигурации необходимо размягчить пленку, нагревая ее до температуры 160-170°C в прессформе, состоящей из матрицы и пуансона /рис. 1/. Нагревание производится в масляной

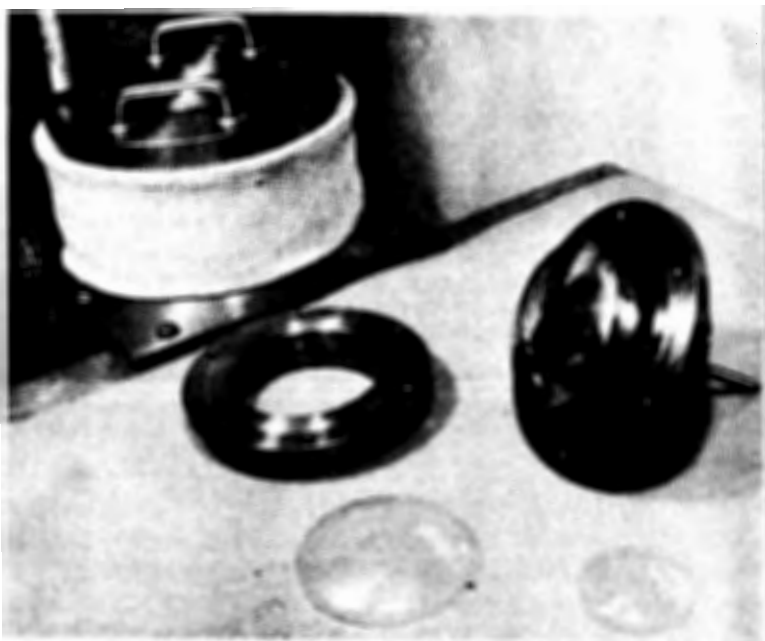


Рис. 1. Прессформа для изготовления донышек из лавсановой пленки. На заднем плане - масляная ванна.

ванне. После достижения соответствующей температуры с помощью резьбового штока производится перемещение пуансона в сторону матрицы. В результате пленка облегает пуансон и принимает его форму. Затем прессформа охлаждается до комнатной температуры. Чтобы пленка свободно перемещалась за пуансоном, необходимо между

цилиндрическими частями матрицы и пуансона иметь зазор. Так как пленка не вытягивается, а, перемещаясь, принимает форму пуансона, то получаемое донышко имеет толщину, близкую к толщине первоначальной заготовки. В этом отличие нашего способа от описанного в работе<sup>/6/</sup>, где пленка зажимается между крышкой и матрицей и под давлением вытягивается, принимая форму матрицы. Донышки, изготовленные по такой технологии, имеют толщину на 40-60% меньше, чем толщина первоначальной пленки, и не так прочны.

Длина отбортовки донышка определяется соображениями прочности для соединения внахлестку<sup>/7-9/</sup> и технологическими особенностями. Форма пуансона, а соответственно, и донышка, выбирается такой, чтобы напряжения, возникающие в донышке при работе сосуда под внутренним давлением, были только растягивающими, так как при возникновении сжимающих напряжений может частично произойти потеря устойчивости первоначальной формы и на донышке образуются складки. Было установлено, что оптимальное значение отношения высоты донышка к радиусу цилиндрической оболочки равно 1/2. При указанном отношении радиус сферы донышка должен быть равен 5/8 диаметра цилиндрической оболочки<sup>/12/</sup>.

Изготовление цилиндрических обечаек из лавсановой пленки производится на оправке. Продольный шов обечаек также выполняется в виде соединения внахлестку.

После зачистки и обезжиривания склеиваемых поверхностей на них наносится тонкий слой клея, затем заготовка накладывается на оправку и по всей длине шов укрепляется биндажом из капроновой нити. Нить наматывается плотно виток к витку. Натяжение осуществляется с помощью устройства, показанного на рис. 2.

Чтобы клей не попадал на оправку и биндаж, под шов и над ним укладываются проставки из 10-12 мкм лавсана. Биндаж остается под натягом в течение всего времени отверждения клея, т.е. около 48 час при комнатной температуре, а затем снимается. Для снятия обечаек с оправки внутрь оправки подается воздух под давлением 0,3-0,5 атм, который через отверстия на

оправке проникает между обечайкой и оправкой и тем самым позволяет без усилий снять обечайку.

Для склеивания лавсана использовались клеи на основе эпоксидной смолы. Известно, что соединения эпоксидными клеями имеют недостаточную прочность на отрыв /отдираание/ и вполне прочны при работе на сдвиг. Это учитывалось при конструировании мишеней.

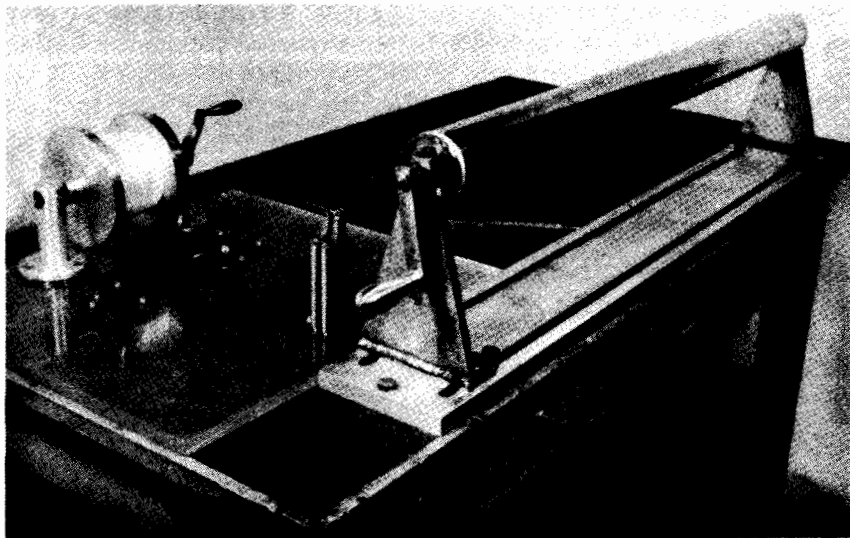


Рис. 2. Устройство для наложения бандаж при склеивании цилиндрических обечаек.

Испытания внутренних сосудов мишени, изготовленных из лавсана, при комнатной температуре и температуре жидкого азота показали высокую прочность и достаточную герметичность конструкции.

#### Конструкция вакуумного кожуха из пенопласта и лавсана

Одна из возможных конструкций вакуумного кожуха из пенопласта и лавсана показана на рис. 3. Цилиндр 1 набран из пенопластовых колец. Внутри и снаружи цилиндра находятся тонкие лавсановые обечайки 2 и 3. С одной

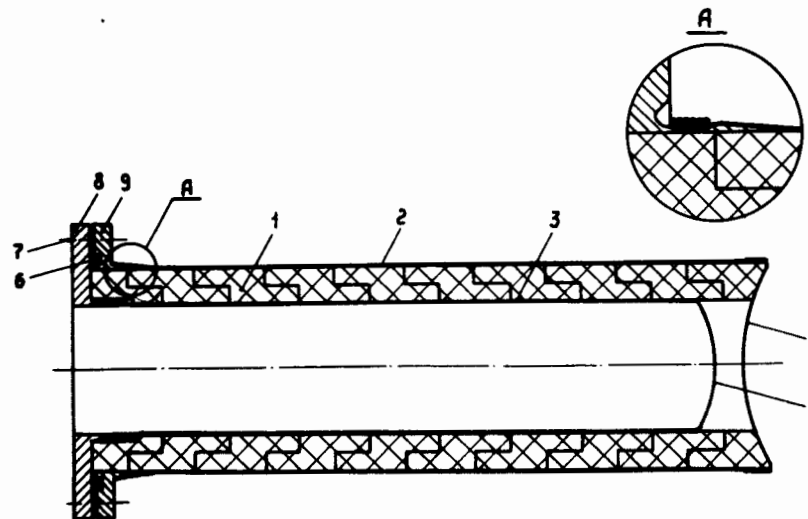


Рис. 3. Схема конструкции кожуха из пенопласта и лавсана: 1 - цилиндр из пенопластовых колец; 2 и 3 - обечайки из лавсановой пленки; 4 и 5 - доньшки из лавсановой пленки; 6 - прокладка; 7 - шпилька; 8 и 9 - фланцы.

стороны обечайки крепятся к фланцам 8 и 9, с другой - заканчиваются лавсановыми доньшками 4 и 5. Фланцы уплотнены между собой с помощью резиновой прокладки 6, затягиваемой шпильками 7. В такой конструкции пенопласт является несущим, а лавсановые обечайки создают герметичность. Внешняя лавсановая обечайка отделяет внутренний сосуд от атмосферы, а внутренняя исключает газоотделение из пенопласта в вакуумный изоляционный объем. При вакуумировании под действием атмосферного давления пенопластовый цилиндр сжимается, становится короче и меньше в диаметре. Например, деформация кожуха из пенопласта ПС-1 / $\gamma = 0,1 \text{ г/см}^3$ / длиной 878 мм, диаметром 125 мм составила: по длине 3,3 мм, по диаметру 0,3 мм. Эти деформации накладывают определенные условия на сборку кожуха. Внутренняя лавсановая обечайка 3, после соединения с фланцем 8 и лавсановым доньшком 5 надевается на оправку, затем на нее надевается цилиндр из пенопластовых колец.

Длина пенопластового цилиндра подобрана так, чтобы после надевания внешней обечайки 2 между фланцами 8 и 9 оставался зазор, равный величине усадки пенопласта. Этот зазор  $\sim 3$  мм/ выбирается усилием затяжки шпилек фланцев, благодаря чему пенопласт сжимается и при вакуумировании не испытывает дополнительных деформаций по длине. Деформациями по диаметру можно пренебречь, необходимо только, чтобы обечайка 2 плотно надевалась на пенопластовый цилиндр. Как было сказано, пенопластовый цилиндр собирается из колец. Толщина стенки кольца определялась из расчета на сжатие давлением  $1 \text{ кг/см}^2$ . Коэффициент запаса принимался равным 1,5. В табл. 2 приведены результаты испытаний пенопластовых колец на прочность /от внешнего давления/. Кольца были изготовлены из пенопласта марки ПС-1 с удельным весом  $0,1 \text{ г/см}^3$ . Ширина кольца определялась толщиной стандартного листа пенопласта.

Из таблицы видно, что действительный запас прочности несколько больше расчетного. Это можно объяснить колебаниями плотности пенопласта, в то время как предел прочности взят минимальным для данной марки пенопласта. Испытание пенопластовых колец на прочность проводилось на специально разработанном приборе /рис. 4/. Прибор состоит из внутреннего кольца 1, обтянутого резиновой манжетой 2, и внешнего кольца 3. Сверху и снизу кольца закрыты фланцами из оргстекла 4. Фланцы стягиваются между собой шпильками 6. Образец размещается внутри замкнутого объема. Зазор между фланцами и образцом выбирается таким, чтобы не было защемления образца. После того, как прибор собран, давление подается в полость между кольцом 1 и манжетой. Размеры кольца 1 и манжеты подбираются так, чтобы при подаче газа резина не растягивалась, а только расправлялась. Под действием силы со стороны резины происходит нагружение образца внешним давлением. Контроль за давлением производится по манометру 8. Наблюдение за деформацией ведется через прозрачные фланцы 4. На приборе испытывались образцы длиной 50 мм. Так как критическое давление, при котором цилиндр /со свободными концами/ теряет устойчивость, зависит

Таблица 2

Образец	Наружный диаметр, мм	Толщина стенки, мм	Запас прочности, расчетный	Давление, при котором произошло разрушение образца, $\text{кг/см}^2$
№ 1	138	13	1,5	1,8
№ 2	138	13	1,5	2
№ 3	138	13	1,5	1,9

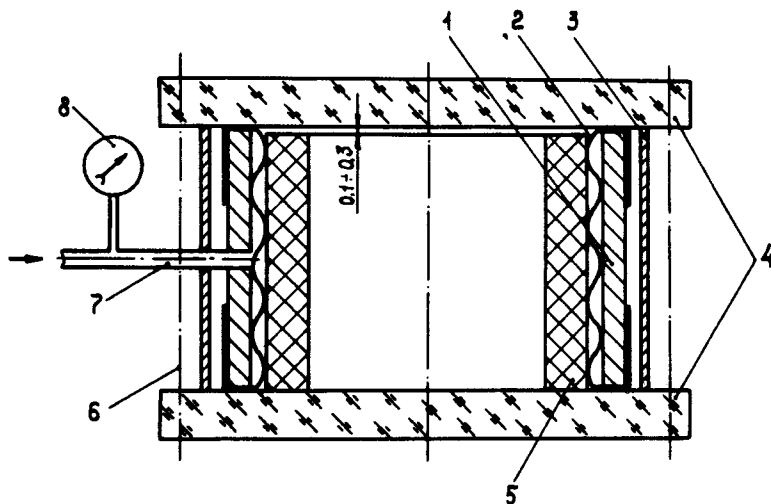


Рис. 4. Схема прибора для испытаний пенопластовых колец на прочность /сжатие/; 1 - внутреннее кольцо; 2 - резиновая манжета; 3 - внешнее кольцо; 4 - фланцы; 5 - образец; 6 - шпилька; 7 - штуцер; 8 - манометр.

только от диаметра и толщины стенок и не зависит от длины, то результаты испытаний коротких цилиндров послужили основанием для выбора толщины стенок вакуумного кожуха. Для сравнения было произведено испытание на наружное давление цилиндра, набранного из пенопластовых колец того же диаметра, длиной 800 мм. Разрушение цилиндра произошло при давлении  $2,4 \text{ кг/см}^2$ . На рис. 5 показан пенопластовый цилиндр после испытаний.

Описанная технология изготовления внутреннего сосуда мишени из лавсана и вакуумного кожуха из пенопласта была использована для изготовления жидководородной мишени с минимальным количеством вещества стенок в угле  $2\pi/10$ .

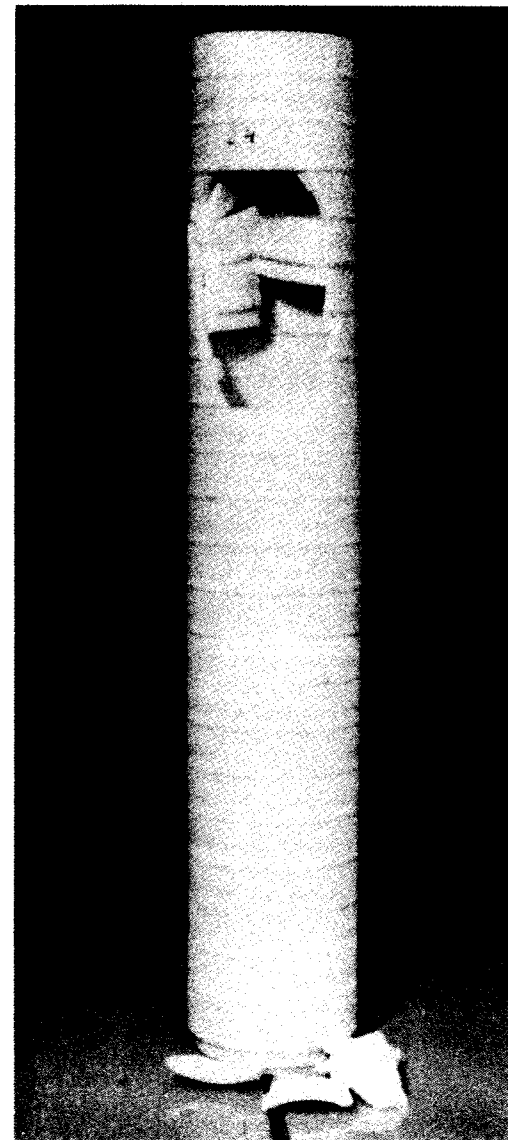


Рис. 5. Цилиндр из пенопластовых колец после разрушения его наружным давлением.



Авторы считают своим приятным долгом выразить особую благодарность М.В.Левину, внесшему основной вклад в освоение технологии изготовления криогенных мишеней из лавсана и пенопласта.

Авторы благодарят также сотрудников криогенного отдела, принимавших участие в этой работе.

#### *Литература*

1. Л.Б.Голованов. ЭЧАЯ, т. 2, вып. 3, 1972.
2. Дж.Джелли. Черенковское излучение и его применение. М., ИЛ., 1960.
3. О.И.Довженко, А.А.Поманский. ЖЭТФ, 45, 268, 1963.
4. Краткий справочник по машиностроительным материалам. М., Машгиз, 1963.
5. Справочник по пластическим массам. М., Изд-во "Химия", 1969.
6. Л.М.Васильев, Ю.П.Дмитриевский, Ю.М.Мельник. ПТЭ, 3, 32, 1972.
7. Г.А.Перри. Склеивание армированных пластиков. Ленинград, Судпромгиз, 1962.
8. И.П.Земляков. Прочность деталей из пластмасс. М., "Машиностроение", 1972.
9. Х.Ли, К.Невилл. Справочное руководство по эпоксидным смолам. М., "Энергия", 1973.
10. Л.Б.Голованов, В.Л.Мазарский. ОИЯИ, Р8-8602, Дубна, 1975.
11. В.В.Коршак, С.В.Виноградова. Гетерогенные полиэферы, М., изд-во АН СССР, 1958.
12. С.В.Бояршинов. Основы строительной механики машин. М., "Машиностроение", 1973.
13. S.R.Hickman, R.W.Kenney et al. Rev.Sci. Instr., 30, 11, 1959.

*Рукопись поступила в издательский отдел  
18 июня 1975 года.*