

ИССЛЕДОВАНИЕ УСТОЙЧИВОСТИ ПОЛИМЕРНЫХ МИКРОСФЕР ПО ОТНОШЕНИЮ К ДЕЙСТВИЮ ВНУТРЕННЕГО ДАВЛЕНИЯ

Е.Р. Корешева

УДК 621.378.9

Исследуется температурная зависимость предела прочности полистирола на растяжение. Найдены оптимальные температурные интервалы хранения газонаполненных микросфер.

Полимерные микросферы перспективны для использования их в качестве оболочек термоядерных мишеней в инерциальном термоядерном синтезе. В то же время, низкая прочность и высокая проницаемость полимеров для изотопов водорода при комнатной температуре создают определенные трудности при изготовлении и использовании мишеней с полимерной стенкой.

Наиболее приемлемым является применение газонаполненных микросфер из полистирола при температурах 100 – 200 К, когда обратной диффузией изотопов водорода из оболочки во многих случаях можно пренебречь [1] и создаются условия для длительного хранения таких мишеней или формирования на их основе криомишеней.

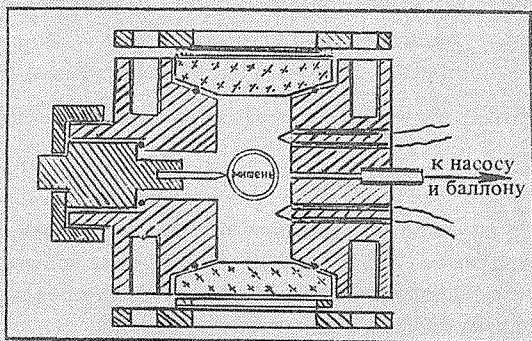
Основным параметром, определяющим устойчивость сферической оболочки по отношению к действию внутреннего давления, является предел прочности материала оболочки на растяжение σ . Табличные значения σ при 300 К составляют для полистирола 300 – 400 кг/см² [2]. В процессе понижения температуры значение σ равномерно повышается, выходя на насыщение вблизи абсолютного нуля температур. Однако сведений о конкретных значениях предела прочности на растяжение полистирола при низких температурах в литературе не имеется.

В настоящей работе проведено изучение температурной зависимости предела прочности на растяжение стенки микросфер из полистирола с целью выбора оптимальных температурных интервалов хранения газонаполненных мишеней и условий формирования криомишеней.

Для оболочки, толщина которой ΔR значительно меньше радиуса R , внутреннее давление разрушения $P_{\text{вн}}$ определяется соотношением:

$$P_{\text{вн}} = 2\sigma\Delta R/R. \quad (1)$$

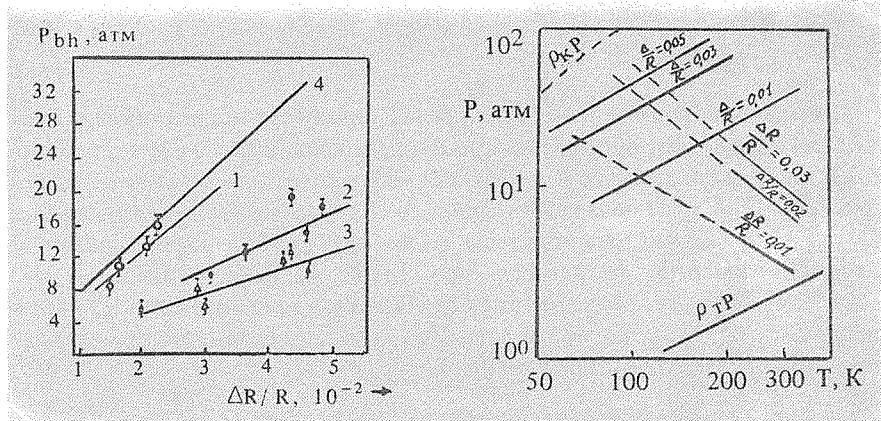
Экспериментальные измерения предела прочности при растяжении проводились следующим образом. Микросфера из полистирола с известными параметрами R и ΔR (обычно $R = 150\text{--}300$ мкм) помещалась в камеру давления (рис. 1), куда подавался гелий и создавалось необходимое давление. Так как коэффициент проницаемости гелия через карбоцепные полимеры, к которым относится полистирол, при 300 К составляет не более 4×10^{-7} см²/с·атм [3], оболочка радиуса 200 мкм с толщиной стенки 10 мкм заполнялась не менее чем за 12 мин. При необходимости камера охлаждалась в парах азота до температуры 200 К.



Р и с. 1. Камера давления

После окончания процесса заполнения микросферы давление гелия в камере за доли секунды снижалось до 1 атм. Изменением давления в оболочке за это время можно пренебречь. Точность определения $P_{\text{вн}}$ составляла 0,25 атм.

Значения $P_{\text{вн}}$, измеренные для оболочек из разных партий, но с одинаковым аспектным отношением $\Delta R/R$, имели разброс до 60%. На рис. 2 показана экспериментальная зависимость $P_{\text{вн}}$ от $\Delta R/R$ при 300 и 200 К. Полученные значения предела прочности полистирола из партии № 1 при этих температурах составляет соответственно 180 ± 36 и 313 ± 46 кг/см², а для партии № 3 при 300 К $\sigma = 116 \pm 12$ кг/см². Для сравнения на рис. 1 показана зависимость предельного давления разрушения от аспектного отношения при 300 К, рассчитанная для среднего табличного значения предела прочности полистирола 350 кг/см², взятого из работы [2].



Р и с. 2. Зависимость P_{BH} от аспектного отношения $\Delta R/R$: 1 – партия № 1, 200 К; 2 – партия № 1, 300 К; 3 – партия № 3, 300 К; 4 – теоретическая кривая, 300 К.

Р и с. 3. Температурная зависимость внутреннего давления разрушения для различных $\Delta R/R$.

Пользуясь полученными данными, можно экстраполировать значения P_{BH} до температур ниже 100 К. На рис. 3 показаны полученные линейной экстраполяцией (в двойном логарифмическом масштабе) зависимости P_{BH} от температуры при различных аспектных отношениях.

Таблица 1

Значения верхней границы температуры разгерметизации T_p для мишеней, содержащих $n-D_2$

$\Delta R/R$	10^{-2}			$2 \cdot 10^{-2}$			$3 \cdot 10^{-2}$		
Δ/R	0,01	0,03	0,1	0,01	0,03	0,1	0,01	0,03	0,1
T_p , К	110	68	50	160	110	70	182	115	86
$T_{Oж}$, К	26,5	32,5	38	26,5	32,5	38	26,5	32,5	38

Наиболее перспективными для инерциального термоядерного синтеза являются мишени, в которых топливо выморожено однородным слоем на внутренней поверхности оболочки — криомишени. Для формирования криослоя газонаполненную микросферу охлаждают ниже температуры ожигения топлива по изохоре. Изохоры охлаждения с различными значениями Δ/R (Δ — толщина криослоя) для случая нормального дейтерия ($n\text{-D}^2$) показаны на рис. 3. Точка пересечения изохор с линией предельных давлений разрушения дает верхнюю допустимую границу для температуры разгерметизации камеры давления и переноса мишени в сосуд хранения или в камеру формирования криомишеней.

Значения температуры ожигения газа $T_{\text{ож}}$, указанные в таблице, можно выбрать в качестве нижней границы температуры разгерметизации.

Как следует из таблицы, мишени с внешней стенкой из полистирола с аспектными отношениями $\Delta R/R = 10^{-2} - 3 \cdot 10^{-2}$ могут длительно храниться без разрушения и без потери топливной смеси при температурах 180 — 50 К. В этом диапазоне температур возможно перемещение мишени с газом в криостат для формирования криослоя.

Автор благодарен А.И. Никитенко, а также группе сотрудников во главе с В.М. Дороготовцевым за помощь при проведении экспериментов.

Поступила в редакцию 6 февраля 1985 г.

ЛИТЕРАТУРА

1. И с а к о в А.И. и др. Краткие сообщения по физике ФИАН, № 2, 30 (1983).
2. Энциклопедия полимеров. М., Советская энциклопедия, т. 3, 1976.
3. Р е й т л и н г е р С.А. Проницаемость полимерных материалов. М., Химия, 1974.