

УДК 678.026.2:629.7.023

Экспериментальные исследования снижения уровня температурных деформаций на границе раздела «металл — композит» при изготовлении металлокомпозитных баллонов

Имедадзе Григорий Александрович^(*)

imedadze@ya.ru

Тарасов Владимир Алексеевич

tarasov_va@mail.ru

Романенков Владимир Алексеевич

vladimir.romanenkov@rsce.ru¹

МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Россия

Аннотация. В докладе представлены данные по снижению уровня температурных деформаций на границе контакта металлического сосуда (лейнера) и силовой композитной оболочки в комбинированных баллонах для хранения сжатых газов высокого давления, изготавливаемых методом «мокрой» намотки из волокнистых композиционных материалов на основе органопластиков и углепластиков с применением эпоксидных полимерных связующих, отверждающихся при повышенной температуре.

Ключевые слова: комбинированный баллон, полимерная матрица, «мокрая» намотка, лейнер, температурная деформация, отверждение связующего

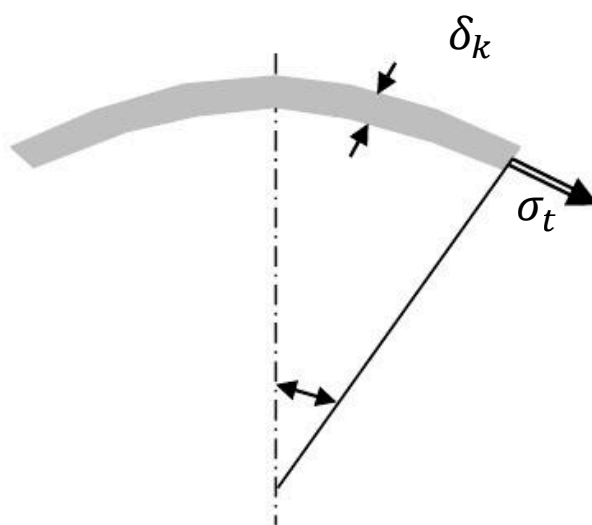
Введение. Конструктивно комбинированные баллоны высокого давления состоят из металлической гермооболочки с нанесенной на нее силовой композитной оболочкой. При изготовлении композитной силовой оболочки используется метод «мокрой» намотки, заключающийся в намотке на лейнер системы жгутов, пропитанных жидким полимерным связующим, с последующей термообработкой намотанного пакета с целью отверждения связующего [1]. Полимерное связующее (матрица) фиксирует форму изделия, распределяет действующие напряжения по объему материала на армирующие волокна. При намотке комбинированных баллонов, используется эпоксидное связующее ЭДТ-10 с температурой отверждения 160 °С [2]. В случае применения лейнера диаметром Ø225 мм из стали при данной температуре отверждения из-за разницы коэффициента термического расширения (КТР) материала лейнера и силовой композитной (углепластиковой) оболочки на границе контакта в процессе нагрева и отверждения связующего возможно образование зазора, негативно сказывающегося на работу баллона при воздействии внутреннего давления. Следовательно, при проектировании баллонов, выборе материалов и разработке технологии изготовления необходимо проведение расчетов по изучению возможных расслоений.

Одним из вариантов сведения к минимуму возможности появления отслоения лейнера от силовой композитной оболочки является применение связующих с пониженной температурой отверждения, имеющегося связующего, с обеспечением степени отверждения не менее 95 %.

Материалы и методы; результаты. В настоящей работе приведены результаты определения физико-механических и технологических свойств различных эпоксидных связующих с пониженной температурой отверждения, не превышающей 110 °С, определенной на основе расчетов допустимых тепловых деформаций вследствие разницы КТР материалов лайнера и оболочки. Из условия равновесия элемента композитной оболочки (рисунок) имеем соотношение между давлением и радиальным напряжением

$$\sigma_r P = \frac{2}{R_0} \delta_k, \quad (1)$$

где R_0 , δ_k — радиус и толщина сферического композитного сегмента.



Условие равновесия элемента композитной оболочки

При горячем отверждении возникает зазор

$$\Delta_3 = R_0 T_{от} (\theta_m - \theta_k), \quad (2)$$

где $T_{от}$ — температура отверждения; θ_m , θ_k — коэффициенты термического расширения металла и композита. Поэтому разрушение лайнера произойдет при давлении

$$P_{раз} = \frac{2\delta_k E}{R_0} \left(\frac{\Delta R_{пр}}{R_0} - \frac{\Delta_3}{R_0} \right). \quad (3)$$

Из проведенного расчета следует, что при снижении температуры отверждения, значения возможного зазора между оболочками снизились на 28,6 %. Снижение работоспособности баллона при наличии зазора при $T_{от} = 110$ °С составило 7 %.

В ходе выполнения работы в ПАО «РКК «Энергия» им. С.П. Королёва» были определены свойства полученных матриц и композитов, приведенные в таблице.

Свойства полученных матриц и композитов

Физико-механические характеристики/марка связующего	«Этал-245Э»		«Этал-245ПЭ»		СМ-Х		ЭДТ-10/110		ЭДТ-10/160	
	20°C	70°C	20°C	70°C	20°C	70°C	20°C	70°C	20°C	70°C
Степень отверждения, %	99,07		98		99,3		98,47		96,01	
Условная вязкость, с при температуре 45°C (испытанное)	60		80		-		65		65	
Предел прочности при растяжении, МПа (испытанное/из литературы)	19,1	12,9	-	-	22,2	27,2	33,1	18,4	36,4	14,6
							60			
Предел прочности при сжатии, МПа (испытанное/из литературы)	79,6	74,3	101,6	399	119	113	229	213	291	255
							160			
Предел прочности при изгибе изог., МПа (испытанное/из литературы)	55,3	29,6	-	-	62	56,5	86,7	24,6	74,2	14,5
							70			
Условный модуль упругости*, МПа $\times 10^{-3}$ (испытанное/из литературы)	7,5	2,34	-	-	8,8	10,1	11,2	2,4	10,5	1,55
							3,6			
Предел прочности/ модуль упругости* при растяжении органоэластика на основе жгута Ариос-500, МПа	2260/ 28200	-	2610/ 27800	-	2390/ 26600	-	-	-	2353	-
Предел прочности/ модуль упругости* при растяжении углеэластика на основе жгута УНЖ-П, МПа	1710/ 23500	-	1440/ 25100	-	2010/ 34100	-	1826/-	-	1929/ 16524	-

Заключение. При изготовлении комбинированных металлокомпозитных баллонов методом «мокрой» намотки целесообразно применение связующих марок ЭДТ-10 с пониженной температурой отверждения и СМ-Х.

Список источников

- [1] Комков М.А., Тарасов В.А. *Технология намотки композитных конструкций ракет и средств поражения*. Москва, Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2011, 400 с.
- [2] Комков М.А., Тарасов В.А., Кузнецов В.М. Исследование влияния вязкости эпоксидных связующих на степень пропитки волокнистых наполнителей. *Клеи. Герметики. Технологии*, 2015, № 4, с. 24–27.