

ОЦЕНКА ПРОЧНОСТНЫХ СВОЙСТВ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ БАЛЛОНОВ ДАВЛЕНИЯ ПРИ ИХ НАГРЕВЕ

А. Э. Запонов

Военная Академия РВСН им. Петра Великого, г. Балашиха, МО

Известно, что прочностные свойства материалов, в том числе металлов, деградируют при увеличении температуры. Это может приводить к изменению коэффициента запаса прочности металлических баллонов давления, которые в процессе эксплуатации в ряде случаев оказываются под воздействием прямых солнечных лучей. В данной статье предложена методика оценки коэффициента запаса прочности баллона давления при его нагреве. Для проверки работоспособности методики проведен расчет прочностных свойств алюминиевого баллона давления с толщиной стенки $h = 1,4$ мм, внутренним давлением 1 МПа и радиусом цилиндрической оболочки $R = 0,15$ м. Для имитационного моделирования нагрева алюминиевого баллона давления было исследовано взаимодействие непрерывного лазерного излучения (ЛИ) с длиной волны $\lambda = 1,06$ мкм с алюминиевыми пластинами толщиной 1,4 мм.

Расчет температурного поля в баллоне давления

Для расчета температурного поля в баллоне давления решалось одномерное уравнение теплопроводности методом конечных разностей по методу Ньютона [0] с температурными зависимостями коэффициента теплопроводности $\lambda(T)$, теплоемкости $c(T)$, плотности $\rho(T)$ при следующих начальных и граничных условиях:

$$\rho(T)c(T)\frac{\partial T(x,t)}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x}\left(\lambda(T)\frac{\partial T(x,t)}{\partial x}\right);$$
$$T_0 = 20\text{ }^\circ\text{C}; \quad q_0 = 500\text{ Вт/см}^2; \quad q_x = 0\text{ Вт/см}^2. \quad (1)$$

Расчет коэффициента запаса прочности баллона давления при его нагреве

Для расчета прочностных свойств баллона давления использовался метод предложенный в [0]. Для этого стенка баллона давления разбивалась на такое же количество элементарных слоев N с той же толщиной h_i , что и шагов по пространству при решении уравнения теплопроводности. Расчет максимального давления P_{\max} , которое может выдержать баллон давления, производился по формуле:

$$P_{\max} = \frac{\sum_{i=1}^N \sigma(T)_i h_i}{R}, \quad (2)$$

где $\sigma(T)_i$ – предельное напряжение на разрыв материала в i -м слое, Па; h_i – толщина i -го слоя, м; R – радиус баллона давления, м.

Коэффициент запаса прочности алюминиевого баллона давления K рассчитывается по формуле:

$$K = \frac{P_{\max}}{P_i}, \quad (3)$$

где P_i – текущее давление в алюминиевом баллоне давления, Па.

Алюминиевый баллон давления считается разрушенным, когда коэффициент запаса прочности принимает значения меньше 1.

Пример расчета по предложенной методике

Для проверки работоспособности данной методики проведен расчет прочностных свойств для алюминиевого баллона давления с толщиной стенки $h=1,4$ мм, внутренним давлением 1 МПа и радиусом цилиндрической оболочки $R=0,15$ м.

Для расчета температурного поля в алюминиевом баллоне давления решалось уравнение (1). В расчетной программе использовались: $N=100$ постоянных равномерных шагов по пространству и переменные шаги по времени, с требованием, чтобы количество итераций на любом временном шаге не превышало 7 для обеспечения приемлемого времени расчетов. Результаты расчета температуры на тыльной стороне алюминиевой пластины с толщиной $h=1,4$ мм при различном времени воздействия при плотности мощности ЛИ 500 Вт/см^2 показаны на рис. 1, где линией представлены расчетные данные, а точками - экспериментальные данные.

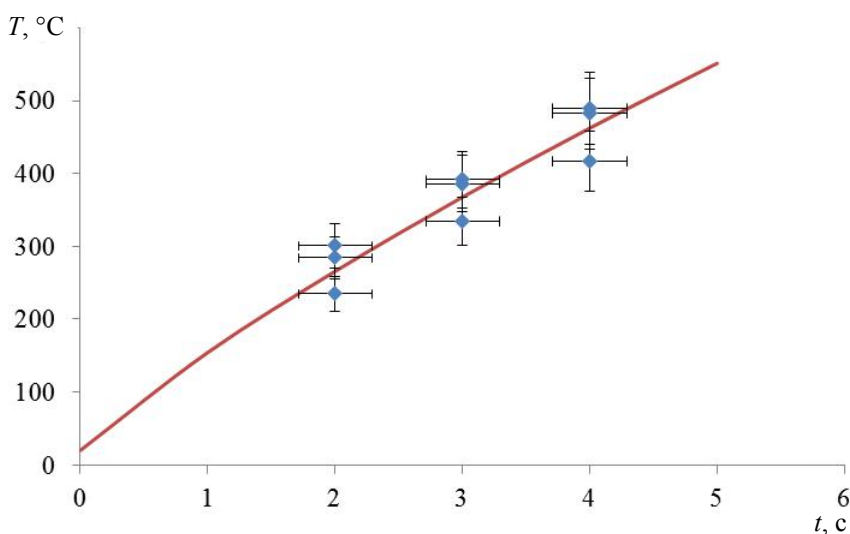


Рис. 1. График зависимости температуры на тыльной стороне алюминиевой пластины толщиной 1,4 мм от времени воздействия ЛИ при плотности мощности 500 Вт/см^2

Расчетное значение температуры на тыльной поверхности алюминиевой пластины расходится с экспериментальными значениями на величину не более 10 %.

Для расчета максимального внутреннего давления для данного алюминиевого баллона давления при различных температурах использовалась формула (2). На рис. 2 показан график зависимости предельного напряжения алюминия на разрыв от температуры [0].

На рис. 3 показана зависимость максимального внутреннего давления (точки) для алюминиевого баллона давления с толщиной стенки $h=1,4$ мм, радиусом $R=0,15$ м и внутренним давлением $P_t=10^6$ Па (линия) от времени воздействия ЛИ.

Для расчета коэффициента запаса прочности и определения момента времени разрушения алюминиевого баллона давления использовалась формула (3). На рис. 4 показан итоговый для достижения цели исследования график зависимости коэффициента запаса прочности алюминиевого баллона давления от времени воздействия ЛИ.

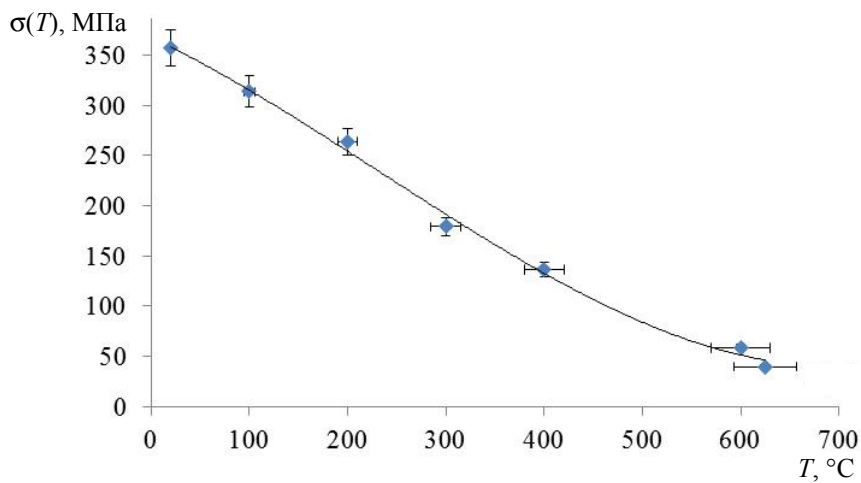


Рис. 2. График зависимости предельного напряжения алюминия на разрыв от температуры

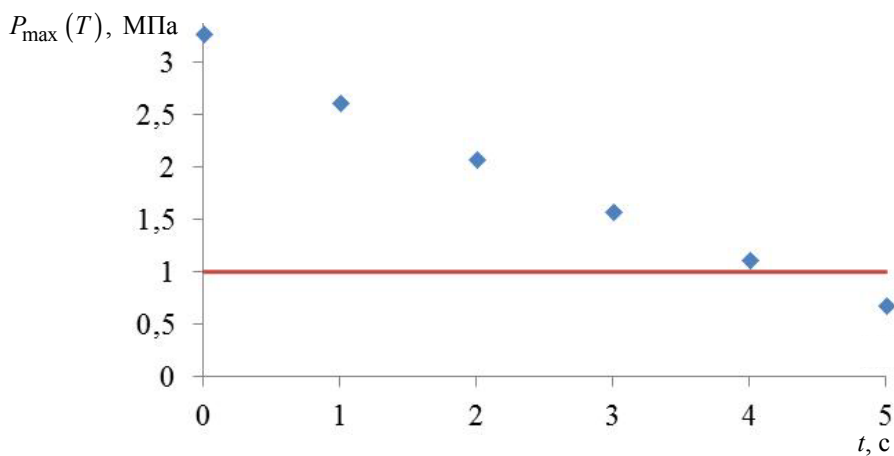


Рис. 3. График зависимости максимального (точки) и текущего внутреннего давления (линия) алюминиевого баллона давления от времени воздействия ЛИ

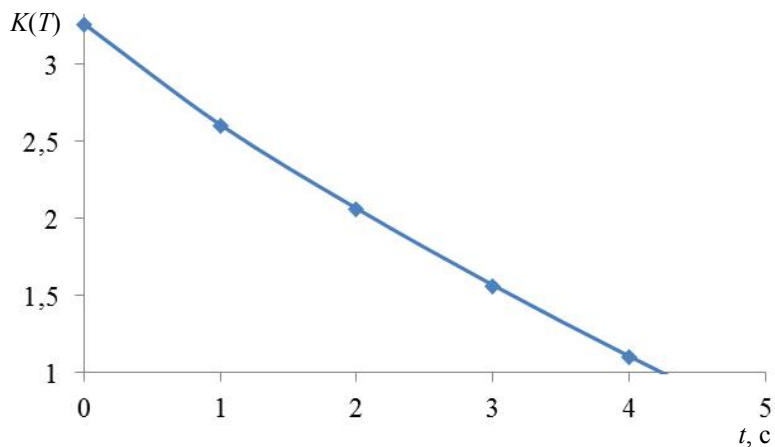


Рис. 4. График зависимости коэффициента запаса прочности алюминиевого баллона давления от времени воздействия ЛИ

Анализ полученных результатов

Анализ результатов расчета, представленных на рис. 4, показал: алюминиевый баллон имел в начальный момент времени коэффициент запаса прочности $\sim 3,3$. Через $\sim 4,2$ с коэффициент запаса прочности алюминиевого баллона давления снизился ниже 1, откуда следует вывод, о разрушении алюминиевого баллона давления.

Выводы

Таким образом, в данной статье предложена методика по оценке прочностных свойств металлических (на примере алюминиевых) баллонов давления при их нагреве. В основе методики лежит уравнение теплопроводности для металлических пластин. Полученные при расчетах результаты удовлетворительно согласуются с экспериментальными данными. Проведенный расчет прочностных свойств алюминиевого баллона давления показал, что прочностные свойства баллонов давления существенно образом зависят от температуры корпуса баллона.

Список литературы

1. Самарский А. А., Вабищевич П. Н. Вычислительная теплопередача. – М.: Едиториал УРСС, 2003. 784 с.
2. Образцов И. Ф., Васильев В. В., Бунаков В. А. Оптимальное армирование оболочек вращения из композиционных материалов. – М.: Машиностроение, 1977.
3. Бабичев А. П., Бабушкина Н. А., Братковский А. М. и др. Физические величины: Справочник Под. ред. И. С. Григорьева Е. 3. Мейлихова. – М.: Энергоатомиздат, 1991. 1232 с.