

К расчету конструктивных параметров мембраны

Молочко В.И., Томашов И.Н.

Белорусский национальный технический университет

Как показала практика эксплуатации мембранных тензометрических датчиков давления, их долговечность и надежность определяется прежде всего прочностными и метрологическими качествами упругого элемента. Поэтому важное значение приобретает расчет конструктивных параметров плоской мембраны (рис. 1), к числу которых следует отнести не только диаметр D и толщину h мембраны, но и радиус r ее сопряжения с корпусом.

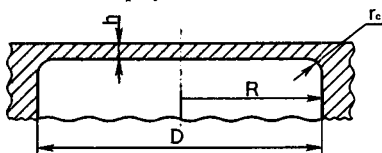


Рисунок 1 – Мембрана, выполненная за одно целое с корпусом

Диаметр D (или максимальный радиус R) мембраны определяется необходимой площадью для наклеивания по меньшей мере двух рабочих тензосопротивлений.

Радиус r_c сопряжения мембраны с корпусом определяется, по данным работы [1], из соотношения $r_c = (0,1 \dots 0,15)R$.

Расчет толщины мембраны при наличии радиуса r_c сопряжения ее с корпусом рассчитывается исходя из условия, что максимальное эквивалентное напряжение имеет место не на краях, а в центре мембраны. В этом случае

$$\sigma_{\text{эки}} \approx 0,488 \frac{pR^2}{h^2} \leq [\sigma],$$

откуда

$$h = 0,7R \sqrt{\frac{p}{\sigma_{\text{эки}}}}.$$

Подставляя вместо p максимальное измеряемое давление $p_{\text{макс}}$, а вместо $\sigma_{\text{эки}}$ допускаемое напряжение $[\sigma]$ материала мембраны, получим с учетом возможной 20% перегрузки по давлению, что

$$h = 0,7R \sqrt{\frac{1,2p_{\max}}{[\sigma]}} = 0,767R \sqrt{\frac{p_{\max}}{[\sigma]}} \quad (1)$$

Допускаемое напряжение $[\sigma]$ материала упругих элементов измерительных систем должно составлять часть предела пропорциональности σ_{ny} или, если величина σ_{ny} неизвестна, часть предела упругости материала σ_y , т.е.

$$[\sigma] = \frac{\sigma_{ny}}{\kappa_{ny}} \text{ или } [\sigma] = \frac{\sigma_y}{\kappa_{ny}}.$$

По данным [2] для уменьшения влияния гистерезиса на характеристику упругого элемента напряжения в мембране не должны превосходить 30% от σ_{ny} ; следовательно коэффициент запаса «метрологической» прочности κ_{ny} должен находиться в пределах 3,3...3,5

Если ни предел пропорциональности σ_{ny} , ни предел упругости σ_y материала упругого элемента неизвестны, то за основу расчета $[\sigma]$ берется предел текучести $\sigma_{0,2}$:

$$[\sigma] = \frac{\sigma_{0,2}}{\kappa_T}.$$

Коэффициент запаса κ_T будет во столько раз больше κ_{ny} , во сколько раз $\sigma_{0,2}$ больше σ_{ny} .

При циклическом режиме изменения давления допускаемое напряжение назначается с учетом обеспечения усталостной прочности материала упругого элемента, т.е. в этом случае

$$[\sigma]_r = \frac{\sigma_r}{\kappa_y}, \quad (2)$$

где σ_r – предел выносливости материала при заданном коэффициенте r асимметрии цикла напряжения, а κ_y – запас усталостной «метрологической» прочности.

Величину σ_r можно определить по формуле Зодерберга [3]:

$$\sigma_r = \frac{2\sigma_{+1} \cdot \sigma_{-1}}{\sigma_{+1} \cdot (1-r) + \sigma_{-1} \cdot (1+r)}, \quad (3)$$

где $\sigma_{+1} = \sigma_T = \sigma_{0,2}$

Указанная методика была применена для расчета конструктивных параметров мембраны тензометрического датчика для измерения давления в гидросистеме гомогенизатора [4].

Благодаря применению тензосопротивлений из фольги с базовой длиной 10 мм диаметр мембраны удалось снизить до $D=27$ мм. При этом радиус r_c сопряжения мембраны с корпусом был принят равным $r_c=0,15 \cdot R=0,15 \cdot 13,5=2$ мм.

Поскольку назначение гомогенизатора – диспергирование (размельчение) и равномерное распределение жировых частиц в молочной среде, в качестве материала мембраны была выбрана коррозионно-стойкая сталь 40X13.

Используя данные по указанной стали, приведенные в [5], можно (для условий закалки 1000-1060°C в масле и отпуске 350-400°C) принять следующие значения её прочностных параметров: $\sigma_{ny}=1000$ МПа, $\sigma_{0,2}=1450$ МПа и $\sigma_{-1}=718$ МПа. Принимая $k_{ny}=3.5$, получим, что $[\sigma]=286$ МПа, а величина $h=2.5$ мм.

Проверка коэффициента запаса усталостной прочности по формулам (2) и (3) с учетом значения коэффициента асимметрии цикла нагружения гомогенизатора $r=0.2$ даст $k_{ny}=3.5$, что должно гарантировать материал мембраны от опасности усталостного разрушения

Литература

1. Томашов, И.Н. К расчету напряженного состояния круглой диафрагмы. Материалы 61-й Республиканской научно-практической конференции студентов и аспирантов БНТУ, Минск, 2005, с.251-254
2. Роземблит, Г.Б., Виленский, П.И., Горелик, Я.И. Датчики с проволочными преобразователями для исследования двигателей внутреннего сгорания Изд-во «Машиностроение», М.: 1966, с. 136 ил.
3. Татур, Г.К. Общий курс сопротивления материалов. Изд-во «Вышэйшая школа», Мн.: 1974.
4. Томашов, И.Н. Диафрагменный датчик давления. Тезисы докладов VIII Республиканской НТК студентов и аспирантов БНТУ. Часть 6, с.70-71, М., 2003.
5. Краткий справочник металлиста. М.: «Машиностроение», 1986 – 960с.