

РАСЧЁТ СОСТАВНЫХ ПРУЖИН С ПАМЯТЬЮ ФОРМЫ

Джолдошбаева Мээрим Бактыбековна - аспирант
Руководители: проф. Абдрахманов С.А.,
доц. Доталиева Ж.Ж.

Появление новых материалов, в частности, обладающих эффектом памяти формы, вынуждает создателей различных конструкций проводить прочностные и деформационные расчеты устройств

с учетом особенностей поведения этих материалов под температурно-силовым воздействием.

Следует отметить, что эффект памяти формы (ЭФП) и генерация реактивных усилий прояв-

ляются только при наличии неупругих деформаций (мартенситной природы) [1,2,3], в связи с этим, важными этапами при проектировании конструкций, работающих за пределом упругости, являются: определение предельной нагрузки, после которой возникают неупругие деформации, в дальнейшем их будем называть фазовыми деформациями; определение величин неупругих деформаций; вопросы разгрузки и изучение остаточных деформаций; исследование реактивных усилий, возникающих в условиях воспрепятствования ее формовосстановлению.

В данной работе рассматривается работа составных цилиндрических витых пружин растяжения, одна из которых обладает эффектом памяти формы. При этом считаем, что витые пружины, в основном, работают на кручение.

С учетом вышесказанного, пусть одна из пружин обладает неограниченной упругостью и имеет модуль сдвига G_1 , а вторая пружина обладает свойством памяти формы. Диаграмму сдвига этой пружины примем в виде двухзвенной ломанной линии. В упругой области деформирования, модуль сдвига $G_2 = G_\mu$, где G_μ - модуль сдвига материала в мартенситном состоянии, в неупругой области этот модуль равен nG_μ , где n - безразмерный параметр, характеризующий степень упрочнения материала ($0 \leq n \leq 1$). Касательное напряжение, соответствующее началу фазовой текучести второй пружины, обозначим через $\tau_{фт}$. Учитывая, что $\tau_{фт}$ намного меньше дислокационного предела текучести считаем, что при изотермическом нагружении во второй пружине возникают неупругие деформации только мартенситной природы, т.е. фазовые деформации.

Разгрузка и определение остаточных удлинений. Рассмотрим процесс разгрузки составных пружин с некоторой нагрузки $P_p \geq P_{фт}$.

1) *Последовательное соединение пружины.* Считаем, что разгрузка осуществляется по упругому закону. Очевидно, что при полной разгрузке остаточные усилия в пружинах будут равны нулю, а остаточное удлинение будет равно

$$\bar{\lambda}_{ост} = \bar{\lambda}_p - \lambda_p^v = \frac{c(1-k_p)}{k_p(1+c)} \bar{P}_p.$$

Здесь $\bar{\lambda}_{ост} = \lambda_{ост}/\lambda_{фт}$; $k_p = k(n, \rho)$ - значение коэффициента падения жесткости на кручение за счет появления неупругих деформаций $k(n, \rho)$ в момент разгрузки от силы $\bar{P}_p = P_p/P_{фт}$, при этом параметр ρ , соответствующий силе P_p , равен ρ_p .

$$k(n, \rho) = \frac{\rho}{3} (4 - \rho^3) + n(1 - \frac{4}{3}\rho + \frac{1}{3}\rho^4)$$

2) *Параллельное соединение пружины.* В этом случае нагрузка $P_{фт}$ определяется формулой $P_{фт} = (1+c) \frac{\pi d^3}{8D_2} \tau_{фт}$. Поступая аналогично вышеизложенному случаю, получаем:

$$\bar{\lambda}_{ост} = \frac{1-k_p}{k_p+c} \bar{P}_p.$$

Вычитая от усилий в стержнях при нагруз-

ке P_p их значения, определяемые при их упругой работе, получаем значения остаточных усилий при полной разгрузке данной конструкции. В безразмерном виде они запишутся в следующем виде:

$$\bar{N}_1^{ост} = \frac{c(1-k_p)}{(1+c)(k_p+c)} \bar{P}_p, \quad \bar{N}_2^{ост} = \frac{c(k_p-1)}{(1+c)(k_p+c)} \bar{P}_p$$

$$\text{Здесь } \bar{N}_1^{ост} = N_1^{ост}/P_{фт}, \quad \bar{N}_2^{ост} = N_2^{ост}/P_{фт}.$$

Замечая, что $k_p < 1$, из последних формул видим, что $\bar{N}_1^{ост} > 0$, а $\bar{N}_2^{ост} < 0$, причем $\bar{N}_1^{ост} = |\bar{N}_2^{ост}|$.

Таким образом, в процессе полной разгрузки первая пружина растянута, а вторая пружина сжата усилием $\bar{N}_1^{ост}$.

Реактивные усилия

При определении реактивного усилия, развиваемого пружиной, обладающей эффектом памяти формы, будем считать, что:

а) остаточная фазовая деформация в процессе формовосстановления исчезает полностью;

б) характеристические температуры фазовых превращений не зависят от напряжений.

Рассмотрим процесс нагрева пружины с памятью формы (в нашем случае второй пружины) только в области температур фазового перехода, т.е. от A_H до A_K .

При *последовательном соединении пружин*, условие совместности деформаций при изменении температуры нагрева на величину dT запишется в виде:

$$d(\lambda_1 + \lambda_{2R} + \lambda_{2t}) = d\lambda_{пф}.$$

Здесь - λ_1 и λ_{2R} - осадка первой и второй пружины от действия реактивной силы R ; λ_{2t} - температурная осадка второй пружины; $\lambda_{пф}$ - осадка пружины, обусловленная эффектом памяти формы.

Определим максимальную реактивную силу, развиваемую последовательно-соединенной пружиной.

$$\bar{R}_{max} = \frac{c(1-k_p)}{k_p[1+c(A_K)]} \bar{P}_p.$$

$$\text{Здесь } c(A_K) = z_1/z_2(A_K).$$

Теперь рассмотрим процесс определения реактивной силы при *параллельном соединении пружин*. В данном случае условие совместности деформаций запишется в виде:

$$d\lambda_1 = d\lambda_2 = d\lambda_{пф},$$

$$\text{где } \lambda_1 = R_1/z_1, \quad \lambda_2 = \frac{R_2}{z_2} + \lambda_{2фт}.$$

Здесь R_1 и R_2 - реактивные усилия в первой и во второй пружине.

Определим максимальную реактивную силу, развиваемую параллельно-соединенной пружиной.

$$\bar{R}_{max} = \frac{1+c(A_K)}{1+c} \frac{c}{c(A_K)} \frac{1-k_p}{k_p-c} \bar{P}_p.$$

$$\text{Здесь учтено, что } \frac{z_2(A_K)}{z_2} = \frac{c}{c(A_K)}.$$

Литература

Известия КГТУ им. И.Раззакова 31/2014

1. Лихачев В.А. и др. Эффект памяти формы. – Л.: Из-во ЛГУ, 1987, - 216 с.
2. Мовчан А.А. Микромеханические определяющие уравнения для сплавов с памятью формы //Проблемы машиностроения и надежности машин. 1994. № 6. с. 47-53.
3. Абдрахманов С.А. Деформация материалов с памятью формы при термосиловом воздействии. //Бишкек «Илим», 1991, - 116с.
4. Абдрахманов С.А., Доталиева Ж.Ж. О зависимости «нагрузка-перемещение» для цилиндрических пружин в неупругой области ее деформирования. //Вестник КНУ им. Ж. Баласагына, – Бишкек, 2012г. – с.63-65.