

УДК 539.47

ТЕМПЕРАТУРНАЯ ДЕФОРМАЦИЯ КОНИЧЕСКИХ ПРУЖИН ИЗ НИТИНОЛА

Асылбек Абдыжапар, преподаватель кафедры Механика и промышленная инженерия, КГТУ им. И.Раззакова, 720044, г.Бишкек, пр. Мира, 66, e-mail: abdyjaparasylybek@gmail.com

Принимая, что коэффициент линейного температурного расширения нитиноловой проволоки, из которой изготовлена пружина, зависит линейным образом от нагрева, определяются температурные деформации конических пружин с постоянным углом подъема и постоянным шагом, обладающих эффектом памяти формы.

Ключевые слова: коническая пружина, температурная деформация, эффект памяти формы, развертка витков, угол конусности, реактивное усилие.

ABOUT THERMAL DEFORMATION OF CONICAL SPRINGS MADE OF NITINOL

Asylbek Abdyjapar, Lecturer, Department of Mechanics and Industrial Engineering, KSTU. I.Razzakova, 720044, Bishkek, Mira, 66, e-mail: abdyjaparasylybek@gmail.com

Assuming that the coefficient of linear thermal expansion of the Nitinol wire, which is made of a spring depends linearly on the heating temperature are determined by the deformation of conical springs with constant lift angle and a constant pitch, having a shape memory effect.

Keywords: conical spring, the temperature deformation, the shape memory effect, turns scan, taper angle, reactive force.

В данной работе рассматриваются температурные деформации конических пружин, изготовленных из нитинола (сплав TiNi, Ti - 53.8%, Ni – 46.2%). Как правило, эти пружины обладают эффектом памяти формы и при формовосстановлении в стесненных условиях генерируют реактивные условия. Эти усилия возникают в области температур фазовых превращений. На их величину, очевидно, влияют и температурные деформации этих пружин.

А. Пружина с постоянным углом подъема ($\alpha=const$)

Схематически эта пружина представлена на рис.1,а, где обозначены r_2 , r_1 – соответственно наибольший и наименьший радиус пружины; ψ – угол конусности; H_0 – начальная высота; α – угол подъема витков.

Развертка витков пружины представляет собой прямую линию (рис.1, б). Начальная длина проволоки, образующей рабочие витки пружины, обозначена через l_0 . Очевидно, она равна:

$$l_0 = \frac{S}{\cos \alpha},$$

где S – полная длина дуги спирали в плане при измерении радиуса r от r_1 до r_2 . Она определяется следующим образом [1]:

$$S = K(r_2 - r_1),$$

$$\text{где } K = \cot \alpha \cot \frac{\psi}{2}.$$

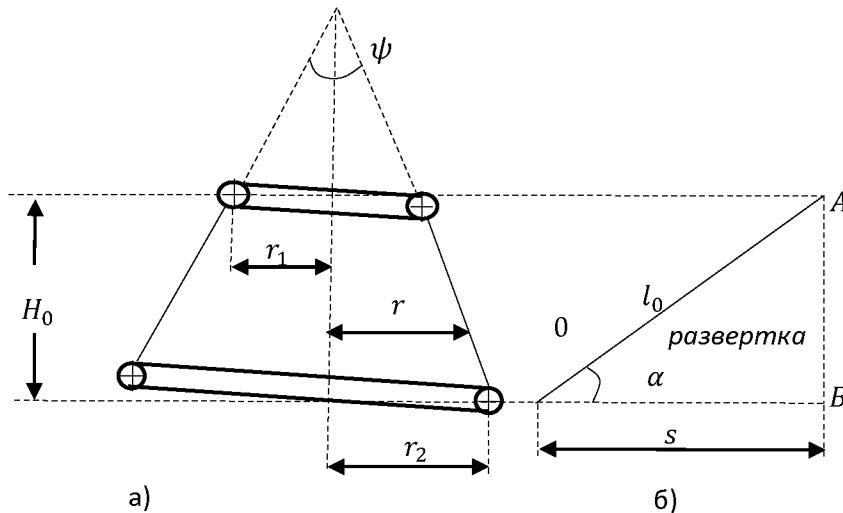


Рис. 1. Коническая пружина с постоянным углом подъема

Из рис. 1,б можно получить связь между высотой пружины H_0 и длиной проволоки l_0 в виде:

$$H_0 = l_0 \sin \alpha. \quad (1)$$

Теперь рассмотрим процесс нагрева пружины. Пусть при этом температура повышается от величины T_0 до некоторой температуры T . Абсолютное удлинение проволоки, образующей рабочие витки при изменении температуры на dT будет равно:

$$dl_t = l_0 \beta(T) dT, \quad (2)$$

где $\beta(T)$ – коэффициент температурного расширения материала.

Следовательно, длина проволоки будет равна:

$$l_t = l_0 + dl_t = l_0 [1 + \beta(T) dT]. \quad (3)$$

Предположим, что в процессе удлинения проволоки угол подъема пружины α меняется незначительно. Тогда на основании формулы (1) и (3) высота пружины будет равна:

$$H_t = l_0 \sin \alpha [1 + \beta(T) dT] = H_0 [1 + \beta(T) dT]. \quad (4)$$

Теперь определим осевое перемещение пружины вследствие ее нагрева. Очевидно, она будет равна:

$$d\lambda_t = H_t - H_0.$$

С учетом формулы (4) ее запишем в виде:

$$d\lambda_t = H_0 \beta(T) dT. \quad (5)$$

Экспериментальные исследования показывают, что коэффициент температурного расширения нитинола в области температур фазовых превращений меняется значительно [2].

Примем эту зависимость в виде:

$$\beta(T) = a_\beta + b_\beta T. \quad (6)$$

Здесь коэффициенты a_β и b_β определяются следующими формулами:

$$a_\beta = \frac{\beta_{AMH} - \beta_{MMK}}{M_H - M_K}, \quad b_\beta = \frac{\beta_M - \beta_A}{M_H - M_K}, \quad (7)$$

где M_H и M_K – соответственно, температуры начала и конца мартенситного фазового превращения, β_M, β_A – коэффициенты температурного расширения материала в мартенситном и аустенитном состояниях. Эти коэффициенты считаются постоянными, когда материал находится в устойчивых мартенситных и аустенитных фазах.

Рассмотрим процесс нагрева пружины от температуры $T_0 < M_H$ до температуры $T > M_K$. Тогда, используя формулы (5) и (6), для осевого перемещения пружины получаем:

$$\lambda_t = H_0 [\beta_M (M_H - T_0) + \beta_A (T - M_K) + \int_{M_H}^{M_K} (a_\beta + b_\beta T) dT]. \quad (8)$$

В случае, если нагрев пружины происходит только в области температур фазового превращения, т.е. $T_0 = M_H, T = M_K$, имеем:

$$\lambda_t = H_0 \left[\alpha_\beta (M_K - M_H) + \frac{b_\beta}{2} (M_K^2 - M_H^2) \right]. \quad (9)$$

Б. Пружина с постоянным шагом ($h=const$)

Схематически данные пружины показаны на рис. 2,а. Развертка витков пружины показана на рис.2,б. При условии малости углов подъема витков, она представляет собой квадратную параболу. В плане проекции конической пружины с постоянным шагом представляет собой

архимедову спираль. При этом $r = r_1 + t\varphi$, где φ – угловая координата; $t = \frac{r_2 - r_1}{2\pi i}$; i – количество витков.

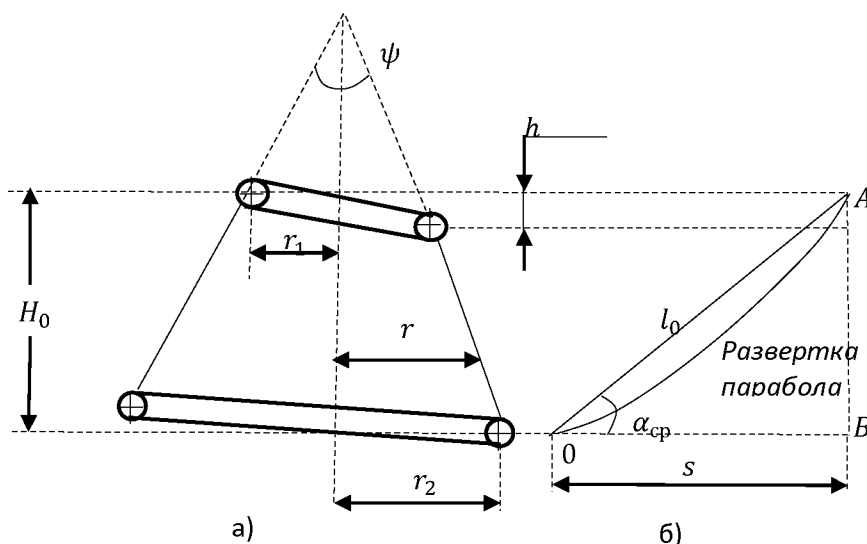


Рис.2. Коническая пружина с постоянным шагом

Полная длина дуги архимедовой спирали в плане, при изменении радиуса r от r_1 до r_2 равна:

$$S \approx (r_2 + r_1)\pi i = r_{cp} \cdot 2\pi i. \quad (r_{cp} = \frac{r_2 + r_1}{2})$$

Длина проволоки ОА, образующей рабочие витки пружины:

$$l_0 \approx \frac{S}{\cos \alpha_{cp}}. \quad (10)$$

Здесь α_{cp} есть средняя величина угла подъема пружины, она принята равной углу АОВ (рис.2,б) [1]. С учетом этого угла, высота пружины H_0 из рис.2,б определяется следующим образом:

$$H_0 = l_0 \sin \alpha_{cp}. \quad (11)$$

Таким образом, для пружины с постоянным шагом, получено выражение, аналогичное формуле (1), где вместо угла α стоит средняя величина угла подъема α_{cp} .

Теперь рассмотрим процесс нагрева этой пружины. При этом принимаем предположения, аналогичные предыдущему случаю, т.е. при удлинении пружины от нагрева средний угол подъема пружины (α_{cp}) меняется незначительно. В этом случае осевое перемещение пружины от ее нагрева (λ_t) будет так же определяться формулами (5), (8) и (9), где H_0 – высота рассматриваемой пружины.

Таким образом, для обеих рассматриваемых пружин (при $\alpha=const$ и $h=const$) получены расчетные формулы для определения осевых перемещений в процессе их нагрева, как в температурном интервале фазовых превращений ($M_H \leq T \leq M_K$), так и за ее пределами (формула 8).

В. Конкретный пример

Оценим величину осевого перемещения конкретной пружины от его нагрева в области температур фазовых переходов. Пусть коническая пружина высотой H_0

изготовлена из нитиноловой проволоки (Ti - 53.8%, Ni - 46.2%), имеющей следующие физические параметры:
 температура начала и конца мартенситного превращения - $M_A=30^{\circ}\text{C}$, $M_K=80^{\circ}\text{C}$. Значения коэффициентов температурного расширения (β) показаны в таблице 1 [2]:

Таблица 1

$T, ^{\circ}\text{C}$	30	80
$\beta \cdot 10^5, 1/^{\circ}\text{C}$	0,64	1,1

Из приведенной таблицы видно, что коэффициент температурного расширения в области фазовых переходов меняется более чем в полтора раза. Используя формулу (7), определим коэффициенты a_{β} и b_{β} . В данном случае они равны:

$$a_{\beta} = 364 \cdot 10^{-8} (1/^{\circ}\text{C}), b_{\beta} = 9 \cdot 10^{-8} (1/^{\circ}\text{C}).$$

С учетом этих коэффициентов по формуле (9) подсчитаем величину осевого перемещения пружины нагретого в области температур фазовых переходов от M_H до M_K . Она в данном случае будет равна:

$$\lambda_t = 0,01 H_0.$$

Таким образом, для рассматриваемых параметров пружины, ее температурное удлинение составляет сотую часть от ее высоты.

Список литературы

1. Абдрахманов С. Деформация материалов с памятью формы при термосиловом воздействии. Бишкек, «Илим», 1991г., -116с.
2. Пономарев С.Д., Андреева Л.Е. Расчет упругих элементов машин и приборов. М.: «Машиностроение», 1980г. -326с.