ABBYY PDF Transformer 2.0 Click here to buy www.ABBYY.com

УДК 539.3

ТЕРМОУПРУГОЕ СОСТОЯНИЕ ИЗ ЖАРОПРОЧНОГО СПЛАВА АНВ-300 ПРИ НАЛИЧИИ ТОЧЕЧНОЙ ТЕМПЕРАТУРЫ И ГЛОБАЛЬНОГО ТЕПЛООБМЕНА

КУДАЙКУЛОВ А.К., КЕНЖЕГУЛОВ Б.З., УТЕБАЕВ У.Б., МЫРЗАШЕВА А.
Международный казахско-турецкий университет им. А.Яссави, г. Туркестан
izvestiya@ktu.aknet.kg

Рассматривается стержень ограниченной длины из жаропрочного сплава АНВ-300 при наличии точечной температуры в левой конце. При этом через площади боковой поверхности по всей длине и площади поперечного сечения правого конца происходит теплообмен с окружающей этих площадей среды. Рассматривается два вида защемления. В первом случае левый конец стержня жестко защемлена, а на правом конце приложена осевая расстегивающая сила. В этом случае определяется удлинение стержня. Во втором случае обе концы стержня жестко-защемлены. В этом случае определяется величина сжимающей силы и термо-упругого напряжения в зависимости от величины заданной точечной температуры. В обеих случаях учитывается зависимость между коэффициентом теплового расширения и поле температуры по длине стержня.

Рассмотрим горизонтальный стержень ограниченной длины $L\ [см]$. Площадь поперечного сечения $F\ [см^2]$ постоянна по ее длине. Коэффициент теплопроводности материала стержня $K_{xx}\ [Вт/(см\cdot{}^\circ C)]$. Коэффициент теплового расширения материала стержня $\alpha(T(x))\ [1/{}^\circ C]$. Модуль упругости $E\ [кГ/см^2]$.

Стержень изготовлена из жаропрочного материала АНВ-300 [1]. Элементы конструкции из этого материала в основном используются в газотурбинных двигателях, рабочий температура которых достигается $900\ {}^\circ C$. В работе [1] приводится в графическом виде результаты натурного эксперимента по установлению зависимости между α и Т результаты этих натурных экспериментов можно переписать в следующей табличной форме (таблица-1).

Таблица 1

$T\ [{}^\circ C]$	20	100	200	300	400	500	600	700	800
$\alpha\times10^{-6}\ [1/{}^\circ C]$	10,1	11,9	13,2	14,7	17	18,3	20,3	22	23,2

После соответствующей мат обработки эту зависимость можно привести к следующей табличной форме (таблица-2).

Таблица 2

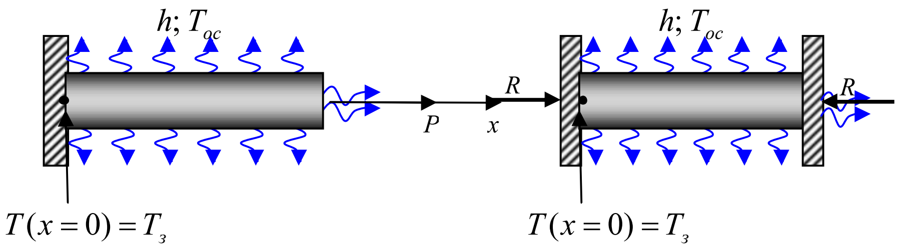
№	Интервал температуры	Зависимость $\alpha(T)$
1.	$20\le T\le100\ [{}^\circ C]$	$\alpha=0{,}0225\cdot10^{-6}\cdot T+9{,}65\cdot10^{-6}\ [1/{}^\circ C]$
2.	$100\le T\le200\ [{}^\circ C]$	$\alpha=0{,}013\cdot10^{-6}\cdot T+10{,}6\cdot10^{-6}\ [1/{}^\circ C]$
3.	$200\le T\le300\ [{}^\circ C]$	$\alpha=0{,}015\cdot10^{-6}\cdot T+10{,}2\cdot10^{-6}\ [1/{}^\circ C]$
4.	$300\le T\le400\ [{}^\circ C]$	$\alpha=0{,}023\cdot10^{-6}\cdot T+7{,}8\cdot10^{-6}\ [1/{}^\circ C]$
5.	$400\le T\le500\ [{}^\circ C]$	$\alpha=0{,}013\cdot10^{-6}\cdot T+11{,}8\cdot10^{-6}\ [1/{}^\circ C]$
6.	$500\le T\le600\ [{}^\circ C]$	$\alpha=0{,}02\cdot10^{-6}\cdot T+8{,}3\cdot10^{-6}\ [1/{}^\circ C]$
7.	$600\le T\le700\ [{}^\circ C]$	$\alpha=0{,}017\cdot10^{-6}\cdot T+10{,}1\cdot10^{-6}\ [1/{}^\circ C]$
8.	$700\le T\le800\ [{}^\circ C]$	$\alpha=0{,}012\cdot10^{-6}\cdot T+13{,}6\cdot10^{-6}\ [1/{}^\circ C]$

На левом конце стержня задано температура $T(x=0)=T_з\ [{}^\circ C]$. По площади баковой поверхности и поперечного сечения правого конца происходит теплообмен с окружающей среды. При этом коэффициент теплообмена $h\,[Вт/(см^2\cdot{}^\circ C)]$, а температура окружающей среды $T_{ос}\ [{}^\circ C]$. Рассматривается два вида граничных условии.

1) Левый конец стержня жестко-защемлена, а на правом конце приложена осевая растягивающая сила $P\,[кГ]$ (Рис.-1, а). В этом случае при разных значениях $T_з$ определяется: поле

распределение температуры $T = T(x)$ по длине стержня; удлинение стержня как от теплового расширение так и от осевой растягивающей силы;

2) Обе концы стержня жестко-защемлена (Рис.-1 б). В этом случае определяется величина сжимающей силы $R\,[кГ]$ и термоупругого напряжения $\sigma\,[кГ/см^2]$ при разных значениях



а) *б)*

Рис.-1. Расчетные схемы рассматриваемых задач

Для решения обе задачи необходимо определить поле распределение температуры по длине стержня с учетом наличия точечной температуры и глобального теплообмена. Из вариационного исчисления известно, что поле распределения температуры $T = T(x)$ которая является решением уравнения теплопроводности и удовлетворяющая существующих граничных условий дает минимум функционалу которая характеризует полную тепловую энергию [2, 3].

$$I = \int_V \frac{K_{xx}}{2}\left(\frac{\partial T}{\partial x}\right)^2 dV + \int_{S_{ПБП}} \frac{h}{2}(T(x)-T_{oc})^2 dS + \int_{S_{ПС}} \frac{h}{2}(T(x)-T_{oc})^2 dS \qquad (1)$$

где V- объем стержня; $S_{ПБП}$ - площадь боковой поверхности стержня; $S_{ПС}$ - площадь поперечного сечения правого конца ($x=L$) стержня.

Так как рассматриваемый температурный процесс является установившиеся, то поле распределение температуры $T = T(x)$ по длине стержня будет гладкой кривой, т.е. она не имеет осциллирующий характер. Тогда, если дискретизировать рассматриваемый стержень n-элементами одинаковой длины, то длина каждого элемента будет $\ell = \frac{L}{n}\,[см]$. В пределах длины дискретного элемента поле распределения температуры можно аппроксимировать кривой второго порядка $T(x) = ax^2 + bx + c$. Учитывая, что $T_i = T(x=0)$; $T_j = T\left(x = \frac{\ell}{2}\right)$; $T_k = T(x=\ell)$; имеем

$$T(x) = \varphi_i(x)\cdot T_i + \varphi_j(x)\cdot T_j + \varphi_k(x)\cdot T_k \qquad (2)$$

где

$$\varphi_i(x) = \frac{\ell^2 - 3\ell x + 2x^2}{\ell^2};\; \varphi_j(x) = \frac{4\ell x - 4x^2}{\ell^2};\; \varphi_k(x) = \frac{2x^2 - \ell x}{\ell^2}; \qquad (3)$$

Тогда записав функционал I_i для каждого дискретного элемента и суммировав их по всем покрывающим рассматриваемый стержень дискретным элементам имеем, что $I = \sum_{i=1}^{n} I_i$

(4)

Здесь следует отметить, что число узлов будет равна *ЧУЗ*=2n+1. Далее минимизировав I по узловым значениям температуры получим разрешающую систему линейных алгебраических уравнений относительно узловых значений температуры.

$$\frac{\partial I}{\partial T_i} = 0 \quad [i = 2 \div (2n+1)] \qquad (5)$$

Здесь учтено, что $T_1 = T(x=0) = T_з$ - уже заранее задано. Решая систему (5) определяются T_i, а по (2) закон распределения температуры в любом дискретном элементе стержня. После этого пользуясь таблицами-1,2 определяются узловые значения температур. Аналогично (2) поле распределения значения коэффициента теплового расширения в пределах одного дискретного элемента примем

$$\alpha(x) = \varphi_i(x)\cdot\alpha_i + \varphi_j(x)\cdot\alpha_j + \varphi_k(x)\cdot\alpha_k \quad (0 \le x \le \ell) \qquad (6)$$

Тогда удлинение каждого дискретного элемента засечет теплового распределения определяется следующим образом [4].

$$\Delta\ell_{Ti} = \int_0^{\ell} \alpha(x)\cdot T(x)dx \qquad (7)$$

Тогда общее удлинение стержня от поле распределения температур будет

$$\Delta\ell_T = \sum_{i=1}^{n} \Delta\ell_{Ti} \qquad (8)$$

Для 1)-ой случай. Удлинение стержня от осевой растягивающей силы P определяется в соответствии закона Гука [4].

$$\Delta\ell_P = \frac{PL}{EF} \qquad (9)$$

Когда обе концы защемлено, величина сжимающегося усилия R определяется как решения соответствующей статически неопределимой задачи

$$R = \frac{EF\cdot\Delta\ell_T}{L} \qquad (10)$$

Тогда величина термоупругого напряжения σ определяется в соответствии законом Гука

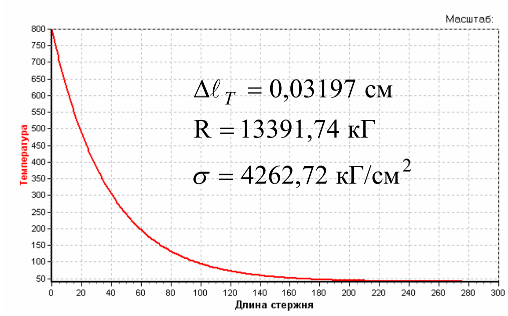
[4]. $\sigma = \frac{R}{F} = \frac{E\Delta\ell_T}{L}$ (11)

Для проведения вычислительных экспериментов за исходных данных примем следующее: $T_1 = T(x=0) = T_з = [400\,^\circ C \div 800\,^\circ C]$; $K_{xx} = 72\ [Bm/(см\cdot^\circ C)]$; $h = 10[Bm/(см^2\cdot^\circ C)]$; $T_{oc} = 40\,[^\circ C]$;

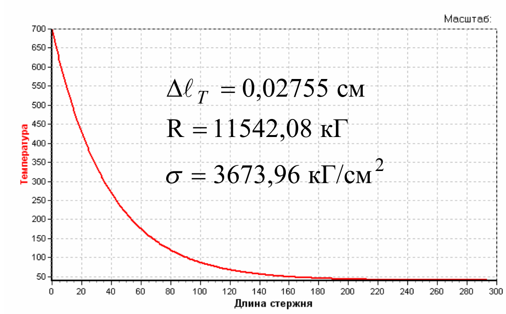
$r = 1\,[см]$; $F = \pi r^2\ [см^2]$; $L = 15\,[см]$; $n = 150\ шт.$; $\ell = \frac{L}{n} = 0{,}1\,[см]$; $P = 1000\,[кГ]$;

$$E = 2\cdot 10^6\left[\frac{кГ}{см^2}\right].$$

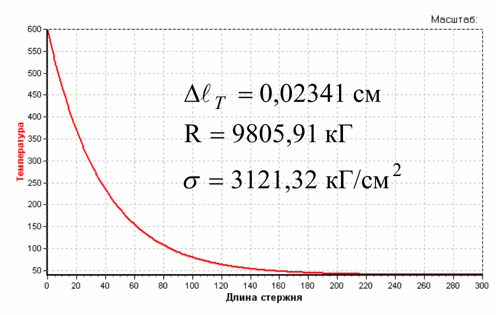
Поле распределение температуры по длине стержня при разных значения $T_1 = T(x=0) = T_з$ при на рис.-2. Там же приводится соответствующие значение $\Delta\ell_T$, R и σ. Так как $P = 1000\,[кГ]$, то для всех рассмотренных случаев $\Delta\ell_P = \frac{PL}{EF} = 0{,}002387\,[см]$. В рассмотренных вариантах $\Delta\ell_T >> \Delta\ell_P$. В этом случае $\sigma_x = \frac{P}{F} = \frac{1000}{3.14} = 318{,}47\left[\frac{кГ}{см^2}\right]$. Если взять $P = 3768\,[см]$ которому соответствует $\sigma_x = 1200\left[\frac{кГ}{см^2}\right]$, то $\Delta\ell_P = 0{,}009\,[см]$. Сравнивая полученные результаты приходим к выводу что, полученные значение $\Delta\ell_T$ во всех вариантах будет $\Delta\ell_T > \Delta\ell_P$.



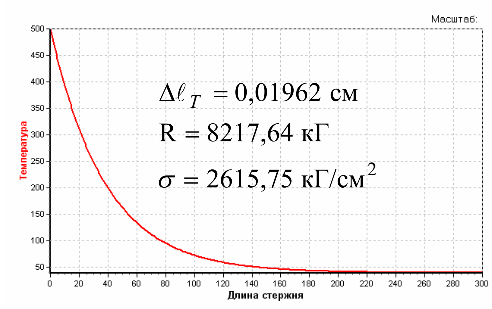
$T_з = 800$



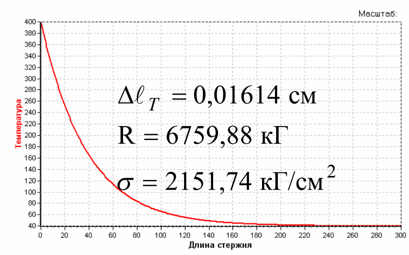
$T_з = 700$



$T_з = 600$



$T_з = 500$



$T_з = 400$

Рис.-2. Поле распределение температуры

Литература

1. Химущин Ф.Ф. Жаропрочные стали и сплавы. 2-ое переработанное и дополненное издания. - М.: Металлургия, 1969.-749с.
2. Сегерлинд Л. Применение метода конечных элементов. - М.: Мир,1979-с.568.
3. Зенкевич О. Метод конечных элементов в технике. - М.: Мир,1975.-с.541.
4. Писаренко Г.С. и др., Сопротивление материалов, Киев: “Вища Школа”, 1973. 672с.