

МРНТИ 81.35.17

Ж.У. Сугиров¹ (orcid - 0000-0002-8109-1658) - основной автор
Г.Г. Байсарова² (orcid - 0000-0002-8145-1656),
С.М. Оспанова³ (orcid - 0000-0002-8122-1671),
Г.И. Есболай⁴ (orcid - 0000-0002-8125-1631),
А.И. Избасар⁵ (orcid - 0000-0002-8257-1678)

¹Д-р техн. наук, профессор, ^{2,3}PhD, ст. преподаватель, ^{4,5}Ст. преподаватель
Каспийский университет технологий и инжиниринга им. Ш.Есенова,
г. Актау, Казахстан
e-mail: sugirov-56@mail.ru

ОБОБЩЕННЫЕ ГЕОМЕТРИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПЛОСКОГО СЕЧЕНИЯ ПРИ НЕРАВНОМЕРНОМ РАСПРЕДЕЛЕНИИ ТЕМПЕРАТУРЫ

Аннотация. В статье изучены обобщенные геометрические характеристики сечения с учетом переменных параметров упругости при неравномерных распределениях температуры. В результате расчетов получили значения приведенного геометрического характеристики плоских сечений. При расчетах приняли, что модули упругостей материалов в результате нагревания уменьшится на 5%. Проводились расчеты для 2-х случаев: первое - когда модули упругостей меняли (уменьшили) на 5 процентов и второе - когда модули упругости меняли на 10 процентов, при одних условиях. Такое изменение было для обычных материалов при нагревании до 250⁰ С. Для другого материала это изменение составило 11%-31%. Расчеты показали, что до 5% можно применять обычную геометрическую характеристику. Когда модуль упругости уменьшили на 10%, возникла потребность использования обобщенных геометрических характеристик и возникла необходимость рассчитать напряженно-деформированное состояние используя эти характеристики.

Ключевые слова: плоское сечение, модуль упругости, нагревание, напряженно-деформированное состояние, расчет.

Введение. Обобщенная геометрическая характеристика плоских сечений при перемещении на параллельную ось имеет те же свойства, что и геометрическая характеристика.

Функция $F(x, y)$ при термическом механическом воздействии упругого материала (конструкционные стали) представляют собою модули упругости, которые зависят от температур. Для конструкционного материала:

$$F(x, y) \equiv E(T) \equiv E(x, y) \quad (1)$$

$$I_x^* = \int_A y^2 F(x, y) dA, I_y^* = \int_A x^2 F(x, y) dA, I_{xy}^* = \int_A xy F(x, y) dA \quad (2)$$

С учетом выражения (1), из формулы (2) получим соотношения, показанные в [3]. Принимая модуль упругости постоянной величиной получим обычную геометрическую характеристику плоского сечения.

$$T = T_0 + (T_1 - T_0)(y/h)^n \quad (3)$$

Здесь T_0 и T_1 величины температур в поперечных сечениях при $y = 0$ и $y = h$.

Условия и методы исследований. Рассматривая формулу обобщенного момента инерции плоского сечения относительно осей x и y при параллельных переносах координатных осей будут меняться и величины моментов инерции. Если принять, что моменты инерций относительно осей x, y будут известны, то они будут вычисляться формулами [4]:

$$\begin{aligned} I_{x1}^* &= I_x^* - 2bS_x^* + b^2A^* \\ I_{y1}^* &= I_y^* - 2aS_y^* + a^2A^* \\ I_{x1y1}^* &= I_{xy}^* - aS_x^* - bS_y^* + abA^* \end{aligned} \quad (4)$$

При осях x и y проходящих через центра тяжести:

$$S_x^* = 0, S_y^* = 0,$$

То, формулы (4) будут упрощаться и выглядят так:

$$\begin{aligned} I_{x1}^* &= I_x^* + b^2A^* \\ I_{y1}^* &= I_y^* + a^2A^* \\ I_{x1y1}^* &= I_{xy}^* + abA^* \end{aligned} \quad (5)$$

Результаты исследований. Рассмотрим расчёт обобщенного характеристики прямоугольного сечения, где температура будет меняться только вдоль имеющийся оси симметрии y . Выражение будет иметь в вид:

$$E(T) = E_0 - \beta_k(-T_S^k + T^k), \quad (6)$$

где β_k, T_S, k - значения постоянных величины, T_S - изначальная температура, T - текущая температура.

При $k = 1; 2$ получим формулу в безразмерной форме.

Принимаем, что значение текущей температуры будет меняться по закону:

Имеем:

$$y_c = \left[\int_0^h y [1 - \beta_k / E_0 (-T_S^k + T^k)] dy \right] / \int_0^h dy [1 - \beta_k / E_0 (-T_S^k + T^k)] \quad (7)$$

Обобщенные моменты инерции к оси x будут вычисляться как:

$$I_x^* = E_0 d \int_0^h y^2 [1 - \beta_k / E_0 (-T_S^k + T^k)] dy \quad (8)$$

Обобщающий момент инерции, принятой относительно оси x_c определим по формуле:

$$I_{x_c}^* = I_x^* - y_c^2 A^* \quad (9)$$

где: $A^* = E_0 d \int_0^h dy [1 - \beta_k / E_0 (-T_S^k + T^k)]$.

Коэффициент β_k можно вычислять по формуле:

$$\beta_k = \frac{E_0 - E_F}{T_F^k - T_S^k},$$

Если будем брать зависимость $E = aT^k + b$, то будем иметь:

$$E = E_0 - \frac{E_0 - E_F}{T_F^k - T_S^k} (T^k - T_S^k) \quad (10)$$

Или в безразмерной форме:

$$\bar{E} = 1 - \frac{1 - E_F / E_0}{(T_F / T_S)^k - 1} [(T / T_S)^k - 1] \quad (11)$$

где $\bar{E} = E / E_0$. Следовательно, в безразмерной форме коэффициент β_k будет вычисляться по формуле:

$$\beta_k^* = \frac{1 - E_F / E_0}{(T_F / T_S)^k - 1} \quad (12)$$

Из формулы (12) приходим к выводу, что коэффициент β_k будет зависеть от показателя у степени k .

Обсуждение научных результатов. Из вышеуказанных формул видим, что при определении обобщенных характеристик плоских сечений надо вычислить интеграл. Интеграл вычислим численно. Будем вводить безразмерные величины:

$$\bar{y} = y / h, \bar{T} = T / T_S, \bar{A}^* = A^* / (E_0 dh), \bar{I}_x^* = I_x^* / (E_0 dh^3);$$

$$\beta_k^* = (1 - E_F / E_0) / [(T_F / T_S)^k - 1], k = 1; 2$$

Тогда имеющиеся формулы (10), (11) и (12) будут иметь вид:

$$\bar{y}_c = \frac{\int_0^1 \bar{y} d\bar{y} [1 - \beta_k^* (\bar{T}^k - 1)]}{\int_0^1 [1 - \beta_k^* (\bar{T}^k - 1)] d\bar{y}}$$

$$\bar{I}_x^* = \int_0^1 \bar{y}^2 [1 - \beta_k^* (\bar{T}^k - 1)] d\bar{y} \quad (13)$$

$$\bar{I}_{xc}^* = \bar{I}_x^* - \bar{y}_c^2 \bar{A}^*$$

$$\bar{A}^* = \int_0^1 [1 - \beta_k^* (\bar{T}^k - 1)] d\bar{y}$$

Численные расчеты были проведены для следующих значений: $T_S = 26^0 C, T_0 = 108^0 C, T_1 = 34^0 C, k = 1, n = 1$. Получили значения: $\bar{y}_c = 0.504, \bar{I}_x^* = 0.328, \bar{I}_{xc}^* = 0.081, \bar{A}^* = 0.973$. Принимали, что модуль упругости материала уменьшился на 5%.

Результаты расчета привели в тб.1.

В тб. 2 привели расчеты при снижении модуля упругости на 10%. Численные расчеты производились в системе Mathcad.

Для тестовой задачи были проведены расчеты для равномерных распределений температур по сечению. По результатам расчетов получили точные значения координат приведенного центра тяжести $\bar{y}_c = 0.5$, который совпал с геометрическим центром тяжести.

Таблица 1

Значения координат приведенного центра тяжести

№	k	T_0 °C	T_1 °C	T_s °C	n	\bar{y}_c	\bar{I}_x^*	\bar{I}_{xc}^*	\bar{A}^*
1	1	109	35	27	1	0,505	0,329	0,082	0,974
2					0,505	0,327	0,082	0,966	
3					1/2	0,504	0,34	0,083	0,985
4					1/3	0,503	0,34	0,083	0,985
1	1	169	84	27	1	0,508	0,315	0,077	0,914
2					0,508	0,308	0,076	0,913	
3					1/2	0,506	0,314	0,078	0,926
4					1/3	0,505	0,315	0,078	0,932

Таблица 2

Значения координат приведенного центра тяжести

№	k	T_0 °C	T_1 °C	T_s °C	n	\bar{y}_c	\bar{I}_x^*	\bar{I}_{xc}^*	\bar{A}^*
1	1	109	35	27	1	0,677	0,224	0,024	0,439
2					0,773	0,178	0,009	0,284	
3					1/2	0,605	0,257	0,041	0,593
4					1/3	0,575	0,263	0,048	0,668
1	1	169	84	27	1	0,516	0,289	0,068	0,826
2					0,517	0,281	0,068	0,802	
3					1/2	0,513	0,294	0,071	0,851
4					1/3	0,508	0,296	0,072	0,864

Заключение. По результатам расчета, которые приведены в табл. 1 и 2 видно, что при небольшом (до 5%) снижении модуля упругости, приведенные центры тяжести будут фактически совпадать с геометрическими центрами. Отсюда следует, что вид функции изменений температур в поперечном сечении немного влияют на расположение приведенных центров тяжести. В случае изменения модуля упругости до 10%, при неизменных температурных режимах, координаты приведенного центра не будут совпадать с геометрическим центром. Координаты приведенных центров тяжести будут существенно зависимы от температуры нагревов верхней и нижней граней поперечного сечения и также, от законов изменения температур в поперечных сечениях.

Также в сплаве с мартенситными превращениями около температуры фазового превращения будет наблюдаться резкие изменения модулей упругости [3]. Относительные уменьшения модулей упругости во время фазовых переходов будут составлять до 25% от модулей упругости аустенита [4]. Очевидно, что осуществленные выше расчеты еще более существенны будут для сплавов с имеющимися памятью формы.

Список литературы

1. Киквидзе, О.Г. Геометрически нелинейная задача изгиба термоупругих стержней [Текст] / О.Г. Киквидзе, Л.Г. Киквидзе. – Тбилиси: Грузинский технический университет, сб. трудов межд. симпозиума «Проблемы тонкостенных пространственных конструкции», 2001. – С.28-31.
2. Масленков, С.Б. Стали и сплавы для высоких температур [Текст]: справочник в двух книгах / С.Б. Масленков, Е.А. Масленкова. – М.: Металлургия, книга 1, 1991. – 383 с.; Книга 2. 1991. – 832 с.
3. Ооцука, К. Сплавы с эффектом памяти формы [Текст] / К. Ооцука, К. Симидзу, Ю. Судзуки [и др.]. – М.: Металлургия, 1990. – 224 с.
4. Определение теплофизических и механических свойств материалов с эффектом памяти формы / Отчет о НИР Харьковский гос. университет №0185.0080132. – Харьков, 1989.

Материал поступил в редакцию 13.12.21.

Ж.У. Сугиров, Г.Г. Байсарова, С.М. Оспанова, Г.И. Есболай, А.И. Избасар

*Ш. Есенов атындағы Каспий технологиялар және инженерия университеті,
Ақтау, Қазақстан*

**ТЕМПЕРАТУРАНЫҢ БІРКЕЛКІ БӨЛІНБЕУІ КЕЗІНДЕГІ ЖАЗЫҚ ҚИМАНЫҢ
ЖАЛПЫЛАНҒАН ГЕОМЕТРИЯЛЫҚ СИПАТТАМАЛАРЫ**

Аңдатпа. Мақалада температураның біркелкі бөлінбеуі кезінде серпімділіктің ауыспалы параметрлерін ескере отырып, қиманың жалпыланған геометриялық сипаттамалары зерттелген. Есептеулер нәтижесінде жазық қималардың берілген геометриялық сипаттамасының мәндері алынды. Есептеу кезінде материалдардың серпімділік модульдері қыздыру нәтижесінде 5% - ға азаяды деп қабылданды. Есептеулер 2 жағдай үшін жүргізілді: біріншісі - серпімді Модульдер 5 пайызға өзгерген (азайған), екіншісі - серпімді Модульдер Бір жағдайда 10 пайызға өзгерген кезде. Мұндай өзгеріс 2500 с дейін қызған кезде қарапайым материалдар үшін болды, басқа материалдар үшін бұл өзгеріс 11% -31% болды. Есептеулер көрсеткендей, әдеттегі геометриялық сипаттаманы 5% - ға дейін қолдануға болады. Серпімділік модулі 10% төмендеген кезде жалпыланған геометриялық сипаттамаларды қолдану қажеттілігі туындады және есептеу қажеттілігі туындады стресс-деформацияланған күй осы сипаттамаларды қолдана отырып.

Тірек сөздер: жазық қима, серпімділік модулі, қыздыру, кернеулі-деформацияланған күй, есептеу.

Zh.U. Sugirov, G.G. Baysarova, S.M. Ospanova, G.I. Esbolai, A.I. Izbasar

*Caspian University of Technology and Engineering named after Sh. Yesenov,
Aktau, Kazakhstan*

**GENERALIZED GEOMETRIC CHARACTERISTICS OF A FLAT SECTION WITH UNEVEN
TEMPERATURE DISTRIBUTION**

Abstract. The article studies the generalized geometric characteristics of the cross section with consideration of the variable parameters of elasticity at uneven temperature distributions. As a result of calculations, the values of the reduced geometric characteristics of flat sections were obtained. When calculating, it was assumed that the elastic modulus of materials as a result of heating will decrease by 5%. Calculations were

carried out for 2 cases: the first - when the elastic modulus was changed (reduced) by 5 percent and the second - when the elastic modulus was changed by 10 percent, under the same conditions. Such a change was for ordinary materials when heated to 2500 C. For other material, this change was 11%-31%. Calculations have shown that up to 5% can apply the usual geometric characteristic. When the modulus of elasticity was reduced by 10%, there was a need to use generalized geometric characteristics and there was a need to calculate the stress-strain state using these characteristics.

Keywords: flat section, elastic modulus, heating, stress-strain state, calculation.

Referenses

1. Kikvidze O.G., Kikvidze L.G. Geometricheski nelinejnaja zadacha izgiba termouprugih sterzhnej [Geometrically nonlinear bending problem of thermoelastic rods]. – Tbilisi: Gruinsky Technical University, collection of works of the International symposium "Problems of thin-walled spatial structures", 4-5.07.01 - PP.28-31. [in Russian].
2. Maslenkov S.B., Maslenkova E.A. Stali i splavy dlja vysokih temperatur [Steels and alloys for high temperatures]. Handbook in two books. - Moscow: Metallurgy, book 1/.1991, 383 p.; Book 2.1991. 832 p. [in Russian].
3. Ootsuka K., Shimizu K., Suzuki Yu. et al. Splavy s jeffektom pamjati formy [Alloys with shape memory effect]. - Moscow: Metallurgy, 1990. - 224 p. [in Russian].
4. Opređenje teplofizicheskih i mehanicheskih svojstv materialov s jeffektom pamjati formy [Determination of thermophysical and mechanical properties of materials with shape memory effect] / Research report Kharkiv State University No. 0185.0080132. Kharkiv, 1989. [in Russian].