

Библиографический список

1. Комиссаров Г.А., Русаков Ю.Н. Идентификация математической модели компрессора для целей доводки. Испытания авиационных двигателей. - Уфа: УАИ, 1982. № 10. - С. 139–145.
2. Тунаков А.П. Классификация математических моделей ГТД. I. Изв. высш. учебн. заведений. Авиационная техника, 1986. № 4. - С.99-101.
3. Литвинов Ю.А., Боровик В.О. Характеристики и эксплуатационные свойства авиационных турбореактивных двигателей. - М.: Машиностроение, 1979. - 288 с.
4. Боровик В.О., Ланда В.Ш. Механизм влияния эксплуатационных факторов на характеристики элементов ГТД. Испытания авиационных двигателей. - Уфа: УАИ, 1985. №13. - С. 3 –8.
5. Кофман В.М. Применение метода малых отклонений и полиномиальной математической модели компрессора для уточнения его характеристик по результатам стендовых испытаний ГТД. Межвуз.науч.сб. Вопросы теории и расчета рабочих процессов тепловых двигателей. - Уфа: УГАТУ, 1992. №15. - С.100-109.
6. Бочкарев С.К., Кулагин В.В., Полукеев С.П. Оценка разброса величин, описывающих характеристики узлов серийных ГТД.

Некоторые вопросы расчета и экспериментального исследования высотно-скоростных характеристик ГТД. ЦИАМ. Труды №839. Сб. статей. 1979. Вып.6. - С. 268 – 272.

7. Черкез А.Я. Инженерные расчеты газотурбинных двигателей методом малых отклонений. - М.: Машиностроение, 1975. - 380с.

8. Гумеров Х.С., Гаврилов А.С., Магадеев А.Я., Магадеева Р.Ш., Мустакимова Н.Б. Аппроксимация характеристик компрессора двухпараметрическими полиномами и применение их в математических моделях ГТД. Некоторые вопросы расчета и экспериментального исследования высотно-скоростных характеристик ГТД. - ЦИАМ, Труды №839. Сб. статей. 1979. Вып.6. - С 183 – 192.

9. Бакулев В.И. и др. Представление характеристик компрессора в координатах, удобных для расчета на ЭВМ параметров ГТД. Изв. вузов. Авиационная техника, 1977. № 3. - С.114–117.

10. Пустыльник Е.И. Статистические методы анализа и обработки наблюдений. - М.: Наука, 1968. - 288 с.

11. Зайдель А.Н. Ошибки измерений физических величин. - М.: Наука, 1974. - 108 с.

12. Адлер Ю.П., Маркова Е.В., Грановский Ю.В. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий. - М.: Наука, 1976. - 279 с.

УДК 593.3

ПРЕДЕЛЬНОЕ СОСТОЯНИЕ ПЛАСТИН С НЕСКВОЗНЫМИ ТРЕЩИНАМИ ПЕРЕМЕННОЙ ГЛУБИНЫ В ПЛОСКОМ НАПРЯЖЕННОМ СОСТОЯНИИ

Степанов С.Л.¹, Яковлев А.С.²

¹Самарский государственный аэрокосмический университет

²ФГУП ГНПРКЦ «ЦСКБ-Прогресс»

ULTIMATE STATE OF THE PLATES WITH BLIND FRACTURE OF VARIABLE DEPTH IN THE PLANE TAUT STATE

Stepanov S.L., Yakovlev A.S. On the basis of solving marginal problem for the scratch of invariable depth in Dugdale's approximation the areas of ultimate states of the thin plate with such a scratch were set up and the boundary between them was determinate in this work [1]. In the process of operation however the external loads which change cyclically close to their nominals act upon the thin-walled elements of the constructions. As a result of that primarily rectilinear front of the scratch becomes distorted and a fatigue scratch with variable depth appears.

В случае плоского напряженного состояния можно считать, что длина царапины $2l$ много больше толщины пластины h

($2l \gg h$), и с достаточной степенью точности аппроксимировать глубину царапины кривой второго порядка в виде (см. рис. 1):

$$z = b \cdot \left(1 - \frac{x^2}{l^2}\right), \quad |x| \leq l \quad (1)$$

Тогда на контуре цапаины $x \leq l$ будут действовать сжимающие усилия интенсивностью:

$$p(x) = -P + \sigma_s \cdot \left(1 - \frac{z}{h}\right), \quad (2)$$

а на берегах пластических зон $l \leq x \leq c$ - с интенсивностью $p(x) = \sigma_s$. Соответствующая краевая задача запишется следующим образом:

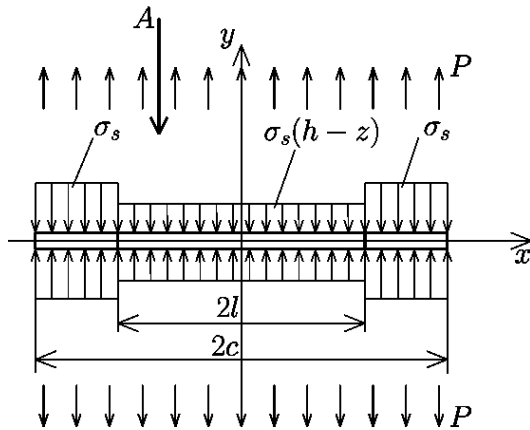


Рис.1. Схема нагружения берегов цапаины с переменной глубиной

$$v(x) = -\frac{1}{\pi \cdot E} \cdot \left\{ (-P + \sigma_s) \cdot \int_{-c}^c \Gamma(c, x, \xi) \cdot d\xi - \sigma_s \cdot \frac{b}{h} \cdot \int_{-l}^l \Gamma(c, x, \xi) \cdot d\xi + \sigma_s \cdot \frac{b}{h \cdot l^2} \cdot \int_{-l}^l \Gamma(c, x, \xi) \cdot d\xi \right\}, \quad (5)$$

$$|x| \leq c$$

Сделаем замену переменных: $t = \frac{x}{c}$;

$$\varphi = \frac{\xi}{c}; \quad \gamma = \frac{l}{c}.$$

Тогда:

$$v(t) = -\frac{\sigma_s \cdot l}{\pi \cdot E \cdot \gamma} \cdot \left\{ \left(1 - \frac{P}{\sigma_s}\right) \cdot \int_{-1}^1 \Gamma(1, t, \varphi) \cdot d\varphi - \frac{b}{h} \cdot \int_{-\gamma}^{\gamma} \Gamma(1, t, \varphi) \cdot d\varphi + \frac{b}{h \cdot \gamma^2} \cdot \int_{-\gamma}^{\gamma} \varphi^2 \cdot \Gamma(1, t, \varphi) \cdot d\varphi \right\} \quad (6)$$

$$|t| \leq 1.$$

$$p(x) = \begin{cases} -P + \sigma_s \cdot \left(1 - \frac{b}{h} + \frac{b}{h} \cdot \frac{x^2}{l^2}\right), & |x| \leq l \\ -P + \sigma_s, & l \leq |x| \leq c \end{cases}, \quad (3)$$

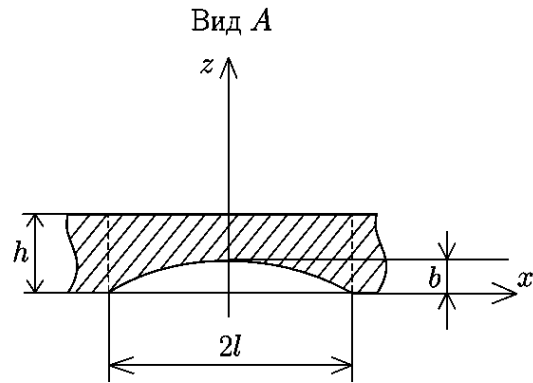
$$v(x) = 0, \quad |x| \geq c$$

где P – внешняя нагрузка.

Очевидно, что к условиям (3) необходимо добавить условие, определяющее однозначность смещений:

$$\lim_{x \rightarrow c} v'(x) = 0 \quad (4)$$

Следуя результатам, полученным в [1], решение (3) запишется в виде:



Последний интеграл в этом выражении после интегрирования по частям сводится к табличным интегралам и берется в явном виде. Обозначим:

$$J(t, \gamma) = \frac{1}{\gamma^2} \cdot \int_{-\gamma}^{\gamma} \varphi^2 \cdot \Gamma(1, t, \varphi) \cdot d\varphi$$

и запишем уравнение (6) в виде:

$$\frac{\pi \cdot E}{\sigma_s \cdot l} \cdot v(t) = -\left(1 - \frac{P}{\sigma_s}\right) \cdot \int_{-1}^1 \Gamma(1, t, \varphi) \cdot d\varphi - \frac{b}{h} \left[J(t, \gamma) - \int_{-\gamma}^{\gamma} \Gamma(1, t, \varphi) \cdot d\varphi \right] \quad (7)$$

Взяв в (7) производную по t и приравняв ее нулю, получим выражение для определения неизвестного параметра γ :

$$\left(1 - \frac{P}{\sigma_s}\right) \cdot \int_{-1}^1 \frac{d}{dt} \Gamma(1, t, \varphi) \cdot d\varphi + \frac{b}{h} \cdot \left\{ \frac{d}{dt} J(t, \gamma) - \int_{-\gamma}^{\gamma} \frac{d}{dt} \Gamma(1, t, \varphi) \cdot d\varphi \right\} = 0 \quad (8)$$

Тогда предельное состояние для цапа-

пины (начальное состояние) определяется из условия:

$$v(0) = v_*$$

или

$$\frac{\pi \cdot E}{\sigma_s \cdot l} \cdot v_* = - \left(1 - \frac{P}{\sigma_s} \right) \cdot \int_{-1}^1 \Gamma(1, 0, \varphi) \cdot d\varphi - \frac{b}{h} \cdot \left[J(0, \gamma) - \int_{-\gamma}^{\gamma} \Gamma(1, 0, \varphi) \cdot d\varphi \right] \quad (9)$$

Здесь v_* - предельное значение критического раскрытия берегов царапины.

Таким образом, уравнения (8) и (9) определяют начальное состояние пластины с царапиной переменной глубины. Конечное состояние определяется так же, как и в работе [1], следующими выражениями:

$$\frac{\pi \cdot E}{\sigma_s \cdot l} \cdot v_* = 4 \cdot \ln \frac{1}{\gamma_k}; \quad \gamma_k = \cos \frac{\pi}{2} \cdot \frac{P}{\sigma_s} \quad (10)$$

На основании полученных результатов и при равенстве левых частей уравнений (9) и (10) можно построить вычислительную процедуру, аналогичную процедуре в [1].

Библиографический список

1. Степанов, С.Л. Предельное состояние тонкой упругопластической пластины с несквозной трещиной в приближении Дагдейла / С.Л. Степанов // «Мат. Моделирование и краевые задачи»: Тр. 3-ей Всерос. научн. конф. – Самара: СамГТУ, 2006. – Ч.1: «Математические модели механики, прочности и надежности элементов конструкций». – С. 209 – 216.