

ПРУЖНО-ПЛАСТИЧНИЙ СТАН ДИСКА, ЩО ОБЕРТАЄТЬСЯ

Вінницький національний технічний університет

Анотація. В роботі представлено експериментально-розрахункову методику для визначення числа обертів турбінного диска. За даними виміру твердості оцінюється критичне число обертів диску двигуна, при якому відбувається його руйнування.,

Ключові слова: пружно-пластичний стан, напруження, диски газових турбін, твердість, карта матеріалу.

Abstract. The paper presents experimental design methodologies to determine the number of revolutions of turbine disc. According hardness is measured critical speed drive motor, at which its destruction.,

Keywords: elastic-plastic state, tension, drives gas turbines, hardness, material map.

Диски газових турбін при обертанні можуть зазнавати залишкових деформацій, а при критичному числі обертів – навіть руйнуватися. Чи можна по зламках диска після його аварійного руйнування визначити число обертів, при якому диск зруйнувався? Пропонується розроблена авторами методика, за допомогою якої можна розв'язати висунуту задачу. Для цього із застосуванням мобільного твердоміра «Темп-3» (твердість за Лібом) вимірюється твердість на недеформованих ділянках турбінного диска та з використанням співвідношень [1] визначити границю текучості матеріалу диска за формулою

$$\sigma_{0,2} = 176 + 0,33H_0 \quad (1)$$

где $\sigma_{0,2}$ – границя текучості, $H_0 = 462$ – початкова твердість металу сталі 40 ХФА.

Потім формують карту матеріалу диска – криву течії в координатах – інтенсивність напружень

$$\sigma_{\text{и}} = \frac{1}{\sqrt{2}} \sqrt{(\sigma_1 - \sigma_2)^2 (\sigma_2 - \sigma_3)^2 (\sigma_1 - \sigma_3)^2} \quad (2)$$

інтенсивність деформацій

$$\varepsilon_{\text{и}} = \frac{\sqrt{2}}{3} \sqrt{(\varepsilon_1 - \varepsilon_2)^2 + (\varepsilon_2 - \varepsilon_3)^2 + (\varepsilon_1 - \varepsilon_3)^2} \quad (3)$$

В формулах (2) і (3) $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$ – головні напруження, $\varepsilon_1, \varepsilon_2, \varepsilon_3$ – головні деформації.

Криву течії металу апроксимуємо виразом

$$\sigma_{\text{и}} = A \varepsilon_{\text{и}}^n, \quad (4)$$

в якому для ізотропних матеріалів коефіцієнт A – інтенсивність напружень при $\varepsilon = 1$, показник степені n – інтенсивність деформацій при максимальному навантаженні на умовній діаграмі розтягування.

Коефіцієнт A за даними [1]

$$A = 1000 \exp(-0,0008 \sigma_{0,2}), \quad (5)$$

а коефіцієнт

$$n = 0,35 \exp(-0,0008A). \quad (6)$$

Для сталі 40ХФА

$\sigma_{0,2} = 329$ МПа, $A = 769$ МПа, $n = 0,19$.

Таким чином, отримана крива зміцнення матеріалу диска.

Для визначення напружень в пластичній області матеріалу використаємо диференціальне рівняння руху елемента диска сталі товщини за даними [2]

$$\frac{d\sigma_r}{dr} + \frac{\sigma_r - \sigma_\varphi}{r} + \frac{\gamma \omega^2 r}{g} = 0 \quad (7)$$

та умову пластичності

$$\sigma_r^2 - \sigma_r \sigma_t + \sigma_t^2 = \sigma_{\text{и}}^2. \quad (8)$$

В результаті інтегрування рівняння (7), з урахуванням співвідношення (8) для диска с отвором отримаємо

$$\sigma_r = \sigma_{\text{и}}(\varepsilon_{\text{и}}) \left(1 - \frac{r_2}{r} \right) - \frac{\gamma \omega^2}{3g} \left(r^2 - \frac{r_2^3}{r} \right), \quad (9)$$

де r – поточний радіус, r_1 – радіус отвору диска.

Граничну кутову швидкість обертання визначено з виразу

$$\omega_{\text{пр}} = \sqrt{\frac{3g\sigma_n(\varepsilon_n)}{\gamma(r_2^2 + r_1 r_2 + r_1^2)}} \quad (10)$$

Для суцільних дисків при $r_1=0$

$$\omega_{\text{пр}} = \sqrt{\frac{3g[\sigma_n(\varepsilon_n)]}{\gamma r_2^2}} \quad (11)$$

Після підстановки в рівняння (10) апроксимації (4), для суцільного диска маємо

$$\omega_{\text{пр}} = \sqrt{\frac{3gA \varepsilon_n^n}{\gamma r_2^2}} \quad (12)$$

Для диска з центральним отвором радіуса r_1 гранична кутова швидкість обертання набуває значення:

$$\omega_{\text{пр}} = \sqrt{\frac{3gA\sigma_n^n}{\gamma(r_2^2 + r_1 r_2 + r_1^2)}} \quad (13)$$

В формулах (12), (13) для сталі 40 ХФА значення коефіцієнта $A = 769$, $n = 0,19$.

Наведемо приклад розрахунку числа обертів диска зі сталі 40ХФА, при якому він перейде в пластичний стан, який передуватиме руйнуванню. Припустимо, що диск має розміри $r_1=3$ см, $r_2=17,4$ см, матеріал – сталь 40 ХФА. Діаметр внутрішнього отвору після його руйнування склав $d_1^P = 5,7$ см. Тоді максимальне значення інтенсивності деформації

$$\varepsilon_n = 2 \ln \frac{d_1^P}{d_1} = 2 \ln \frac{6}{5,7} = 0,1026.$$

Після підстановки даних в формулу (13) отримаємо

$$\omega_{\text{пр}} = \sqrt{\frac{3 \cdot 980 \cdot 7690 \cdot 0,1026^{0,19}}{0,0078(17,4^2 + 17,4 \cdot 3 + 3^2)}} = 2273$$

Число обертів $n = 30 \frac{\omega}{\pi} = \frac{30 \cdot 2273}{3,14} = 21718$ об/мин.

Висновки: 1. Розроблена експериментально-розрахункова методика визначення числа обертів турбінного диска.
2. Для випадку аварійної ситуації завжди існує можливість визначення критичної кількості обертів диска, при якому він зазнав руйнування.

Список використаної літератури

1. Огородніков В. А. Визначення енергії пластичної деформації елементів конструкцій транспортних засобів і параметрів відкриття подушок безпеки при ДТП / В. А. Огородніков, В. Є. Перлов // Збірка наукових праць Вінницького національного аграрного університету. Серія: Технічні науки. – 2009. Вип.3. – С.3-9.
2. Малинин Н. Н. Прочність турбомашин / Н. Н. Малинин. – М. : Машгиз, 1962. – 291 с.

Мбуїм Вільям Патрик Брюс, ст. гр. ПМ-15 б, Вінницький національний технічний університет, E-mail: mbouyim3591@yahoo.fr

Теймуров Надір Айдінович, ст. гр. ПМ-15 б, Вінницький національний технічний університет, E-mail: tnadir27@gmail.com

Науковий керівник: Огородніков Віталій Антонович, д.т.н., професор, Вінницький національний технічний університет, E-mail: va.ogorodnikov@mail.ru