

Практическая работа №15

Тема: Определение коэффициента запаса прочности при переменных нагрузках

Цель: Изучить особенности действия на детали переменных нагрузок и научиться определять коэффициент запаса прочности

Порядок выполнения работы:

- 1 Ознакомиться с теоретическими сведениями
- 2 Определить коэффициент запаса прочности для цилиндрической пружины в соответствии с вариантом
- 3 Ответить на контрольные вопросы в письменном виде
- 4 Предоставить **отчет по практической работе и ответы** на контрольные вопросы в электронном виде на проверку.

С уважением, *Гнатюк Ирина Николаевна*.

При необходимости вопросы можно задать по телефону: 072-136-54-46

Работы отправлять на электронную почту ira.gnatyuk.60@inbox.ru

Теоретические сведения

Под коэффициентом запаса прочности будем понимать отношение предельных значений напряжений для данной детали к рабочим (действующим в реальных условиях эксплуатации), а именно $n_{\sigma} = \frac{\sigma_{max д}}{\sigma_{max раб}}$

То есть n_{σ} показывает, во сколько раз рабочие напряжения, возникающие в детали в ходе допустимых для данной детали величин циклических напряжений. В этом случае можем записать

$$n_{\sigma} \cdot \sigma_a^{раб} = \frac{\sigma_{-1} \cdot \psi_{\sigma} (\sigma_n \cdot \sigma_m^{раб})}{K},$$

$$\text{отсюда } n_{\sigma} = \frac{\sigma_{-1}}{K \cdot \sigma_a^{раб} + \psi_{\sigma} \cdot \sigma_m^{раб}}$$

Если деталь подвергается действию циклических касательных напряжений (например, при кручении), коэффициент запаса выносливости найдем по аналогии

$$n_{\tau} = \frac{\tau_{-1}}{K \cdot \tau_a^{раб} + \psi_{\tau} \cdot \tau_m^{раб}}$$

При одновременном действии и нормальных, и касательных напряжений (при плоском напряженном состоянии) коэффициент запаса выносливости найдем в виде

$$n = \frac{n_{\sigma} \cdot n_{\tau}}{\sqrt{n_{\sigma}^2 + n_{\tau}^2}}$$

Задание для практической работы

Для цилиндрической клапанной пружины (рис.1) определить коэффициент запаса прочности .

Диаметр пружины D , диаметр проволоки пружины d . Сила, сжимающая пружину в момент открытия клапана, P_{\max} , в момент закрытия клапана - P_{\min} . Материал проволоки пружины-хромованадиевая сталь с механическими характеристиками, предел текучести $t_T = 900$ МПа, предел выносливости при симметричном цикле $t_{-1} = 480$ МПа, предел выносливости при нулевом (пульсирующем) цикле $t_0 = 720$ МПа.

Исходные данные для своего варианта принять по таблице

Таблица

№ вар.	D, м	d, м	P_{\max} , кН	P_{\min} , кН	k_t	e_t
1	0,045	0,003	0,030	0,080	1,04	0,94
2	0,040	0,0025	0,028	0,082	1,02	0,95
3	0,040	0,002	0,026	0,084	1,03	0,96
4	0,045	0,0025	0,024	0,086	1,04	0,94
5	0,050	0,003	0,022	0,088	1,05	0,95
6	0,045	0,004	0,020	0,090	1,06	0,96
7	0,045	0,003	0,030	0,092	1,07	0,94
8	0,040	0,0025	0,028	0,094	1,04	0,95
9	0,040	0,002	0,026	0,096	1,02	0,96
10	0,045	0,0025	0,024	0,098	1,03	0,94
11	0,050	0,003	0,022	0,080	1,04	0,95
12	0,045	0,004	0,020	0,082	1,05	0,96
13	0,045	0,003	0,030	0,084	1,06	0,94
14	0,040	0,0025	0,028	0,086	1,07	0,95
15	0,040	0,002	0,026	0,088	1,04	0,96
16	0,045	0,0025	0,024	0,090	1,02	0,94
17	0,050	0,003	0,022	0,092	1,03	0,95
18	0,045	0,004	0,020	0,094	1,04	0,96
19	0,045	0,003	0,030	0,096	1,05	0,94
20	0,040	0,0025	0,028	0,098	1,06	0,95
21	0,040	0,002	0,026	0,080	1,07	0,96
22	0,045	0,0025	0,024	0,082	1,04	0,94
23	0,050	0,003	0,022	0,084	1,02	0,95
24	0,045	0,004	0,020	0,086	1,03	0,96
25	0,045	0,003	0,030	0,088	1,04	0,94
26	0,040	0,0025	0,028	0,090	1,05	0,95

27	0,040	0,002	0,026	0,092	1,06	0,96
28	0,045	0,0025	0,024	0,094	1,07	0,94
29	0,050	0,003	0,022	0,096	1,02	0,95
30	0,045	0,004	0,020	0,098	1,04	0,96

Пример выполнения практической работы

Для цилиндрической клапанной пружины (рис. 1) определить коэффициент запаса прочности .

Диаметр пружины $D = 0,04$ м, диаметр проволоки пружины $d = 0,004$ м. Сила, сжимающая пружину в момент открытия клапана, $P_{\max} = 0,240$ кН, в момент закрытия клапана - $P_{\min} = 0,096$ кН. Материал проволоки пружины- хромованадиевая сталь с механическими характеристиками, предел текучести $t_T = 900$ МПа, предел выносливости при симметричном цикле $t_{-1} = 480$ МПа, предел выносливости при нулевом (пульсирующем) цикле $t_0 = 720$ МПа. Для проволоки пружины эффективный коэффициент концентрации напряжений $k_t = 1,05$, коэффициент влияния абсолютных размеров поперечного сечения $e_t = 0,96$.

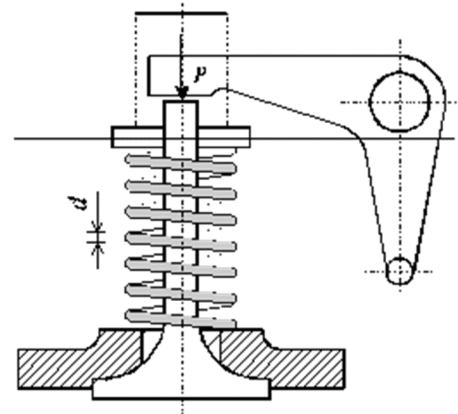


Рисунок 1 – Клапанная пружина

Решение

1. Определение максимального t_{\max} и минимального t_{\min} напряжений в проволоке пружины и вычисление коэффициента асимметрии цикла R. Для вычисления напряжений используем формулу:

$$\tau = k \frac{8PD}{\pi d^3}$$

где k - коэффициент, учитывающий поперечную силу и неравномерность распределения напряжений от ее воздействия, а также влияние деформации изгиба вследствие кривизны витков пружины.

Этот коэффициент можно определить по приближенной формуле:

$$k = \frac{4C_n + 1}{4C_n - 4}$$

где $\tilde{N}_n = \frac{D}{d}$ - характеристика геометрии пружины.

В данном примере $\tilde{N}_n = \frac{D}{d} = \frac{0,04}{0,004} = 10$

тогда . $k = \frac{4 \cdot 10 + 1}{4 \cdot 10 - 4} = 1,14$

Определим величины напряжений:

$$\tau_{\max} = k \frac{8P_{\max}D}{\pi d^3} = 1,14 \cdot \frac{8 \cdot 0,240 \cdot 4 \cdot 10^{-2}}{3,14 \cdot 0,4^3 \cdot 10^{-6}} = 435,4 \times 10^3 \text{ кН/м}^2,$$
$$\tau_{\min} = k \frac{8P_{\min}D}{\pi d^3} = 1,14 \cdot \frac{8 \cdot 0,096 \cdot 4 \cdot 10^{-2}}{3,14 \cdot 0,4^3 \cdot 10^{-6}} = 174,210^3 \text{ кН/м}^2.$$

Коэффициент асимметрии цикла:

$$R = \frac{\tau_{\min}}{\tau_{\max}} = \frac{174,2}{435,4} = 0,4$$

2. Нахождение среднего t_m и амплитудного t_a напряжений цикла. Найдем величину среднего и амплитудного напряжений цикла в зависимости от t_{\max} и

t_{\min} :

$$\tau_m = \frac{\tau_{\max} + \tau_{\min}}{2} = \frac{435,4 + 174,2}{2} \cdot 10^3 = 304,8 \cdot 10^3 \text{ кН/м}^2,$$
$$\tau_a = \frac{\tau_{\max} - \tau_{\min}}{2} = \frac{435,4 - 174,2}{2} \cdot 10^3 = 130,6 \cdot 10^3 \text{ кН/м}^2.$$

3. Определение коэффициента запаса прочности. Деталь (пружина) может перейти в предельное состояние по усталости и по причине развития пластических деформаций. Коэффициент запаса прочности по усталости определяется по формуле:

$$n_{R\tau} = \frac{\tau_{-1}}{k_p \tau_a + \psi \tau_m},$$

где t_{-1} - предел выносливости при симметричном цикле; величины K_p и ψ определяются по зависимостям, приведенным в п.3:

$$\psi = \frac{2\tau_{-1} - \tau_0}{\tau_0} = \frac{2 \cdot 480 - 720}{720} = 0,333; \quad k_p = \frac{1,05}{0,84 \cdot 0,96} = 1,302$$

Коэффициент запаса усталостной прочности:

$$n_{R\tau} = \frac{480 \cdot 10^3}{(1,302 \cdot 130,6 + 0,333 \cdot 304,8) \cdot 10^3} = 1,77$$

Коэффициент запаса по пределу текучести можно получить аналогичными рассуждениями, как и коэффициент запаса усталостной прочности, учитывая, что предельная прямая по текучести проходит под углом 45° к горизонту. В итоге:

$$n_T = \frac{\tau_T}{\tau_a + \tau_m} = \frac{900 \cdot 10^3}{(130,6 + 304,8) \cdot 10^3} = 2,07$$

Так как, $1,77 < 2,07$, то коэффициент запаса прочности для пружины определяется усталостью и равен 1,77.

Для анализа рассмотрим ситуацию, когда в момент закрытия клапана на него действует сжимающая сила $P_{\min} = 0,18$ кН. Тогда имеем:

минимальное значение напряжения:

$$\tau_{\min} = 1,14 \cdot \frac{8 \cdot 0,180 \cdot 4 \cdot 10^{-2}}{3,14 \cdot 0,4^3 \cdot 10^{-6}} = 326,6 \times 10^3 \text{ кН/м}^2;$$

среднее напряжение

$$\tau_m = \frac{435,4 + 326,6}{2} \cdot 10^3 = 381,0 \cdot 10^3 \text{ кН/м}^2;$$

амплитудное напряжение

$$\tau_a = \frac{435,4 - 326,6}{2} \cdot 10^3 = 54,4 \cdot 10^3 \text{ кН/м}^2;$$

коэффициент запаса прочности по усталости

$$n_{R_t} = \frac{480 \cdot 10^3}{(1,302 \cdot 54,4 + 0,333 \cdot 381,0) \cdot 10^3} = 2,43$$

коэффициент запаса прочности по пределу текучести

$$n_T = \frac{900 \cdot 10^3}{(54,4 + 381,0) \cdot 10^3} = 2,07$$

Так как $2,07 < 2,43$, то коэффициент запаса выбирается по пределу текучести и принимается равным 2,07.

Контрольные вопросы:

1. Что называется пределом выносливости?
2. Как определяется предел выносливости?
3. Что называется коэффициентом амплитуды — характеристикой цикла нагружений?
4. Что называется средним циклом нагружения?
5. Что называется амплитудой нагружения?
6. Каковы величины предела выносливости малоуглеродистой стали при симметричных циклах?
7. При каких характеристиках циклов концентраторы особенно интенсивно снижают предел выносливости?
8. Что называется эффективным коэффициентом концентрации напряжений?