

ВОПРОСЫ МЕХАНИКИ РАЗРУШЕНИЯ В КУРСЕ «ФИЗИКА ОТКАЗОВ И ОСНОВЫ НАДЕЖНОСТИ МАШИН»

Завистовский В.Э.

The report presents the curriculum of the following course «Physics of failure and machine reliability fundamental», and also given the examples of the applied uses of linear mechanics of destruction.

Инженер, занимающийся расчетами на прочность, встречается с огромным потоком информации, посвященной исследованию различных методов описания деформирования и разрушения конструкционных материалов, а также разными подходами к оценке надежности элементов конструкций и деталей машин. Этим вопросам уделено недостаточно внимания в курсах «Сопротивления материалов» («Механика материалов»), «Техническая механика» или «Прикладная механика», читаемых студентам технических специальностей вузов. Курс «Физика отказов и основы надежности машин» относится к числу дисциплин, формирующих фундаментальную подготовку инженерных кадров, и частично восполняет пробел между программами учебных дисциплин и научно-технической литературой [1].

Целью данной дисциплины является оснащение будущих специалистов современными знаниями по надежности машин, раскрытию и анализу причин отказов, механике разрушения материалов, принятию обоснованных решений по упрочнению и восстановлению работоспособного состояния и путях повышения долговечности машин. Современная наука рассматривает во взаимной связи вопросы теории машин на всех стадиях жизненного цикла, при этом, на каждом этапе должны быть использованы современные методы расчета, проектирования и производства машин, обеспечивающие необходимый уровень надежности и возможность восстановления работоспособного состояния.

Программа курса включает в себя шесть основных разделов, среди которых выделим следующие:

ФИЗИКА ОТКАЗОВ МАШИН. Дефекты в материалах деталей машин. Типичные дефекты кристаллического строения: точечные, линейные, поверхностные, объемные. Технологические дефекты в металлах и сплавах: трещины, поры, раковины, шлаковые включения. Дефекты наплавки и напыления. Влияние упрочнения на характер поведения дефектов в твердом теле.

Характерные неисправности машин. Конструктивные, технологические и эксплуатационные факторы, обуславливающие возникновение неисправностей. Классификация неисправностей: износ, механические повреждения, химико-тепловые повреждения.

Процессы механического разрушения твердых тел. Виды разрушения материалов. Основные положения линейной механики разрушения. Меха-

низмы зарождения и развития трещин. Усталость металлов. Разрушение полимерных материалов. Разрушение металлов с покрытиями. Отказы по параметрам прочности. Предельные состояния и надежность. Расчет характеристик сопротивления усталости.

АНАЛИЗ ИЗЛОМОВ ДЕТАЛЕЙ МАШИН.

Термины, используемые при описании микро — и макрорельефов излома. Классификация основных видов излома по: макрогеометрии, морфологии поверхности разрушения, характеру силового воздействия, механизму разрушения. Строение изломов при статическом и динамическом нагружении при следующих видах деформаций: растяжении, изгиба, кручении. Строение изломов при циклическом нагружении: микро — и макростроение усталостных изломов. Строение изломов материалов с упрочнением и покрытиями. Фрактографическое определение зоны стартового развития трещины и использование ее геометрических размеров для оценки трещиностойкости конструкционных материалов.

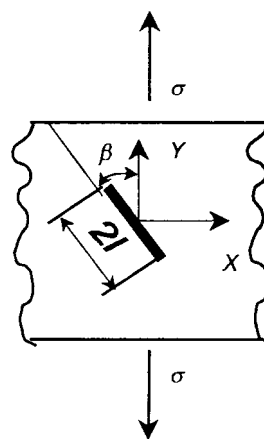
Практическое применение подходов линейной механики разрушения покажем на примерах, включенных в практикум курса.

Критическое значение номинальных напряжений, возникающих в деталях машин, имеющих трещины, определяется по формуле:

$$\sigma_c = K_{Ic} / [(\pi l)^{1/2} Y_I],$$

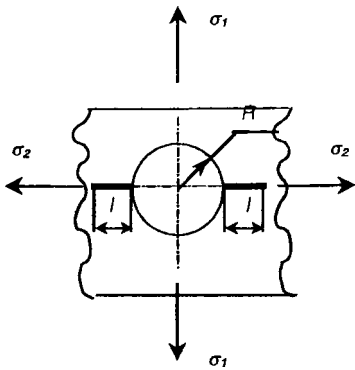
где Y_I — поправочная функция, зависящая от условий нагружения, размеров образца, формы и места расположения трещины и других факторов. Значения Y_I для различных случаев нагружения приведены на рисунке 1[2].

а)



$$Y_I = \sin^2 \beta$$

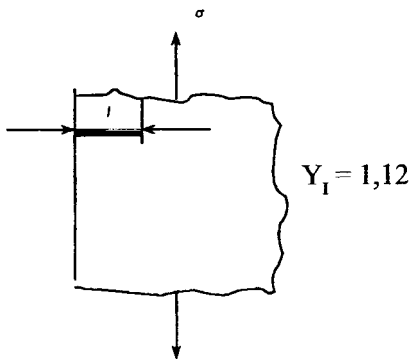
б)



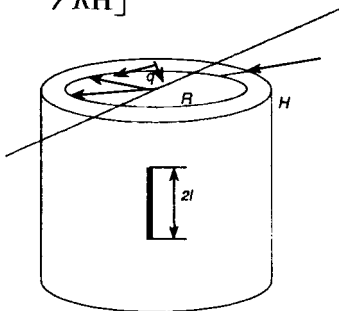
за длину трещины принимают размер $L = 1 + R$ $\lambda = \frac{L}{R}$

λ	0,1	0,3	0,5	1,0	2,0	6,0	10
$\gamma_1(\lambda)$	1,57	1,22	1,03	0,83	0,70	0,62	0,59

в)



$$2) Y_I = \left[1 + 1,6 \frac{l^2}{RH} \right]^{1/2}$$



д) За длину трещины принимают $l = d/2$
 $Y_I = 0,5(1 + 0,5a + 0,375a^2)(1 - a)$ $a = \frac{d}{D}$

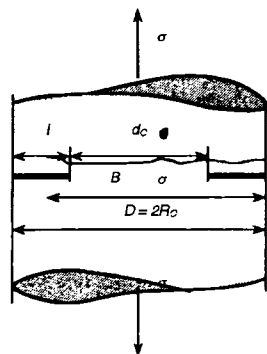


Рис. 1. Значение поправочного коэффициента Y_I в зависимости от условий нагружения, размеров детали, формы и места расположения трещины

K_{Ic} — трещиностойкость, $[МПа \cdot м^{1/2}]$; K_I — коэффициент интенсивности напряжений, $K_I = \sigma \sqrt{\pi l} \cdot Y_I$. Запас трещиностойкости $n_{np} = \frac{K_{Ic}}{K}$.

Пример 1 [3]. В алюминиевой панели (ширина $B = 2$ м, толщина $H = 0,1$ м) выявлена плоская сквозная трещина в сварном шве. Панель нагружена усилием $F = 13700$ Кн. Трещина, длиною $2l = 20$ мм расположена в центральной части панели перпендикулярно направлению растяжения. Материал σ — алюминиевый сплав В95 с трещиностойкостью $K_{Ic} = 29$ МПа·м^{1/2}. Безопасна ли работа такой панели?

Решение. Так как длина трещины мала по сравнению с шириной панели, то коэффициент интенсивности напряжений вычисляется по формуле $K_I = \sigma(\pi l)^{1/2}$. Критерий хрупкого разрушения $K_I = K_{Ic}$ определяет критический размер трещины $l_c = \frac{K_{Ic}^2}{\pi \sigma^2}$.

Определим величину номинального напряжения σ :

$$\sigma = \frac{F}{BH} = \frac{1,37 \cdot 10^7}{2000 \cdot 100} = 68,5 \text{ МПа.}$$

Тогда

$$l_c = \frac{29^2}{3,14 \cdot 68,5^2} = 0,057 \text{ м}$$

и критическая длина трещины $2l_c = 114$ мм. Следовательно, выявленная трещина не является критической, т.к. $2l = 20 < 2l_c = 114$ мм.

Однако, прежде чем принять решение о безопасности работы панели, инженер должен выявить причину возникновения, из-за чего она выросла до 20 мм, возможен ли ее рост и как быстро она может достичь критического размера 114 мм.

Пример 2 [2]. Диск посажен на ось с натягом $D = 0,4$ мм (рисунок 2); $b = 200$ мм; $c = 400$ мм. Диск и ось изготовлены из стали одной марки с механическими характеристиками: $\sigma_{0,2} = 1500$ МПа; $\sigma_s = 1850$ МПа; $\sigma_{sc} = 2500$ МПа; $E = 2 \cdot 10^5$ МПа; $K_{Ic}^{sp} = 57$ МПа·м^{1/2}. Требуется определить:

— как изменить запас прочности диска, если на его внутренней поверхности выявлена трещина глубиной $l = 2,5$ мм;

— какова допустимая глубина трещины, если коэффициент запаса прочности конструкции должен быть $n_b \geq 1,5 - 2$.

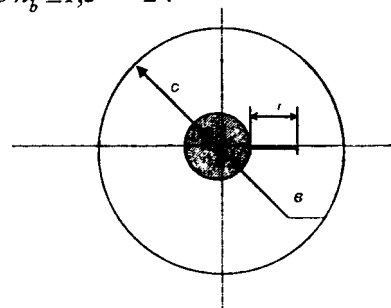


Рис. 2. Диск и положение трещины

Решение.

Определим напряжения в диске без трещины, инициированные натягом:

$$\sigma_{\theta,r} = \frac{E \cdot \Delta}{2b} \left(\frac{b^2}{c^2} \pm 1 \right);$$

$$\sigma_{\theta}(\sigma_1) = \frac{E \cdot \Delta}{2b} \left(\frac{b^2}{c^2} + 1 \right) = \frac{2 \cdot 10^5 \cdot 0,4 \cdot 10^{-3}}{2 \cdot 200 \cdot 10^{-3}} \left(\frac{200^2}{400^2} + 1 \right) = 250 \text{ МПа};$$

$$\sigma_r(\sigma_3) = \frac{E \cdot \Delta}{2b} \left(\frac{b^2}{c^2} - 1 \right) = \frac{2 \cdot 10^5 \cdot 0,4 \cdot 10^{-3}}{2 \cdot 200 \cdot 10^{-3}} \left(\frac{200^2}{400^2} - 1 \right) = -150 \text{ МПа};$$

Определим эквивалентное напряжение по критерию Мора:

$$\sigma_{\text{экв}} = \sigma_1 - \left(\frac{\sigma_{Bp}}{\sigma_{Bc}} \right) \sigma_3 = 250 - \frac{1850}{2500} (-150) = 361 \text{ МПа}.$$

Запас прочности

$$n = \frac{\sigma_{Tp}}{\sigma_{\text{экв}}} = \frac{\sigma_{0,2}}{\sigma_{\text{экв}}} = \frac{1500}{361} = 4,16.$$

Запас трещиностойкости

$$n_{Tp} = \frac{K_{IC}}{K_I} = \frac{K_{IC}}{1,12 \cdot \sigma_{\theta} \cdot (\pi l_c)^{1/2}} = \frac{57}{1,12 \cdot 250 (3,14 \cdot 0,0025)^{1/2}} = \frac{57}{24,8} = 2,29.$$

Запас прочности диска изменился в

$$\frac{n}{n_{Tp}} = \frac{4,16}{2,29} = 1,82 \text{ раза}.$$

Определим допускаемую величину глубины трещины l_c . Если принять наименьшее значение коэффициента запаса прочности $n_{\text{сmin}} = 1,5$, то величина критических напряжений будет равна

$$\sigma_c = \sigma_{\theta} \cdot n_{\text{сmin}} = 250 \cdot 1,5 = 375 \text{ МПа}.$$

Согласно критерию хрупкого разрушения

$$K_{IC} = 1,12(\sigma_{\theta} \cdot n_{\text{сmin}}) \cdot (\pi l_c)^{1/2}$$

имеем

$$l_c = \frac{K_{IC}}{\pi [1,12 \cdot (\sigma_{\theta} \cdot n_{\text{сmin}})]^2} = \frac{57}{3,14 [1,12 \cdot (250 \cdot 1,5)]^2} = 5,85 \text{ мм}.$$

ЛИТЕРАТУРА:

1. Завистовский В.Э., Холодиллов О.В., Богданович П.Н. Физика отказов механических систем: Учебное пособие.- Мн.: Технопринт, 1999.- 212 с.
2. Корнилов О.А. Прикладна механіка руйнування: Підручник.- Киев, 1999.- 175 с.
3. Завистовский В.Э. Физика отказов и основы надежности машин: Практикум.- Новополоцк: ПГУ, 2002.- 65 с.

ОСОБЕННОСТИ ПРЕПОДАВАНИЯ КУРСА « ТЕХНИЧЕСКАЯ МЕХАНИКА » ДЛЯ ПЕДАГОГИЧЕСКИХ СПЕЦИАЛЬНОСТЕЙ ВУЗОВ

Завистовский В.Э., Якубовская С.В.

In the report features of teaching of a rate «Technical mechanics» for engineering-pedagogical specialities are considered. Concepts of designing and projection — the basic kinds of works are given at performance of an academic year project on technical mechanics. It is shown, that for students of engineering-pedagogical specialities it is expedient to emphasize on projection.

«Техническая механика», как учебная дисциплина, играет важную роль в программе подготовки инженерно педагогических кадров. Обратимся к образовательным стандартам специальности П 03. 02. 00 «Трудовое обучение». Объем аудиторных занятий для этой специальности — 125 ч., из них 90 ч. лекций, 35 ч. лабораторных и практических занятий. Минимум содержания образовательной программы включает общие принципы конструирования, расчета и надежной эксплуатации технологических систем, основы расчета абсолютно твердого тела как модели механического объекта, основы кинематики и динамики машин и механизмов, особенности расчета, контроля и надежной эксплуатации типовых элементов машин. Студен-

ты должны знать и уметь использовать методы расчета механических систем, давать характеристики конструкционным материалам и сплавам, должны иметь навыки и владеть методами расчетов механических конструкций, механизмов и машин на прочность, способами выбора конструкционных материалов для конкретных условий их применения.

Исходя из требований образовательной программы, можно сделать вывод, что основная цель преподавания курса «Техническая механика» показать тесную взаимосвязь его с прикладными дисциплинами, сформировать у студента мировоззрение инженера, без которого невозможна трудовая деятельность по выбранной специальности. Пред-