

ОСНОВНІ ПЕРЕДУМОВИ Й МЕТОДИ РОЗРАХУНКУ НА МІЦНІСТЬ. РОЗРАХУНОК НА МІЦНІСТЬ ПРИ СТАТИЧНИХ НАВАНТАЖЕННЯХ. МАЛОЦИКЛОВА УТОМА

Види руйнувань й основні механічні властивості матеріалів

Вид руйнування деталей машин залежить від типу матеріалу, характеру зміни навантаження в часі, форми й розмірів деталі, температури, зовнішнього середовища й інших факторів.

Навантаження ділять на статичні, змінні й ударні.

Статичні навантаження – навантаження, які повільно змінюються від нуля до свого кінцевого значення й потім не змінюються або змінюються незначно протягом усього строку експлуатації.

Ударні навантаження – навантаження, які характеризуються високими швидкостями їхнього зростання.

Змінні навантаження – навантаження, що змінюються під час експлуатації по якому або законі.

Основні параметри, використовувані при аналізі змінних навантажень:

- $\sigma_{\max}, \sigma_{\min}$ – максимальне й мінімальне за алгебраїчним значенням напруги циклу;
- $\sigma_a = (\sigma_{\max} - \sigma_{\min}) / 2$ – амплітуда напруг циклу;
- $\sigma_m = (\sigma_{\max} + \sigma_{\min}) / 2$ – середнє значення напруг циклу;
- $R = \sigma_{\max} / \sigma_{\min}$ – коефіцієнт асиметрії циклу навантаження.

Розрізняють наступні види законів зміни змінних навантажень:

1 Симетричний цикл: $\sigma_{\max} = \sigma_{\min} = \sigma_a$; $R = -1$ (підкоряються зміни нормальних напруг у валах й осях).

2 Віднулевий (пульсаційний): $\sigma_m = \sigma_a = \sigma_{\max} / 2$; $\sigma_{\min} = 0$; $R = 0$ (зміни згинаючих напруг у кореня зуба шестірни).

3 Асиметричний цикл (зміни напруг, що розтягують, у затягнутих болтах, напруг у клапанних пружинах).

4 Випадковий процес зміни навантаження (зміна моменту в головній лінії при запуску прокатного стана).

При однократному додатку статичного навантаження може виникати грузле, тендітне або квазікрихке руйнування.

Грузле – руйнування, якому передують більша пластична деформація й на яке затрачається більша робота.

Тендітне – руйнування, що протікає практично без помітних пластичних деформацій при малих витратах енергії.

Квазікрихке – руйнування, що займає проміжне положення між грузлим і тендітним, тобто яке протікає з деякою невеликою пластичною деформацією й з витратою певної енергії на руйнування.

Період роботи машини (години, роки й т.п.) від моменту виникнення першої макроскопічної тріщини втоми (звичайно довжиною 0,1. 0...0,5мм) до остаточного руйнування називається живучістю.

При вивченні росту тріщин використовують методи й поняття механіки руйнування.

Для визначення живучості конструкції необхідно знати залежність між довжиною тріщини й залишковою міцністю.

Під залишковою міцністю розуміють навантаження або напруги, які приводять до руйнування деталі із заданою тріщиною при їхньому однократному додатку.

Для оцінки характеристик опору матеріалу й деталей втомленому руйнуванню проводять втомлені випробування лабораторних зразків, моделей і деталей натурних розмірів на спеціальних втомлених машинах, які розрізняють по виду навантаження (вигин в одній площині, вигин при обертанні, крутіння, розтягання-стиск, складне навантаження). Типи випробуваних зразків, методи випробувань й обробка результатів регламентуються ДЕРЖСТАНДАРТ. Число випробуваних зразків повинне бути не менш 15.

Границею витривалості при симетричному циклі навантаження називається те найбільше значення амплітуди змінної напруги, нижче якого зразки не руйнуються до бази випробування. База випробування N_B – число циклів, при досягненні якого випробування припиняють, якщо зразок не зруйнувався. Для вуглецевих і низьколегованих сталей $N_B = 10^7$ циклів. Крива втоми (крива Велера) представлена на рис. 7.1.

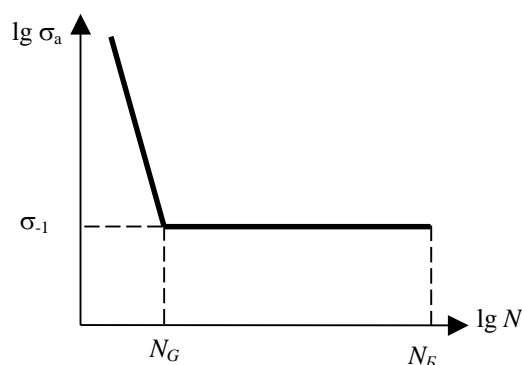


Рисунок 7.1 – Результати втомлених випробувань при симетричному циклі навантаження

Для сталей руйнування зразків звичайно спостерігається при кількості циклів $N_G = 1...3 \times 10^6$.

Рівняння кривої втоми:

$$\begin{aligned} \sigma_a^m N = \sigma_{-1}^m N & \text{ при } \sigma \geq \sigma_{-1}; \\ N = \infty & \text{ при } \sigma_a < \sigma_{-1}, \end{aligned} \quad (7.1)$$

де показник ступеня m характеризує нахил лівої галузі кривої утоми.

Розрахунок на міцність за коефіцієнтами запасу міцності

У цей час все більше поширення одержують методи розрахунку на міцність із використанням коефіцієнтів запасу міцності по напругах n_σ , по граничних навантаженнях n_Q і по довговічності n_L .

1 Розрахунок коефіцієнта запасу міцності по напругах:

$$n_\sigma = \sigma_{\text{lim}} / \sigma_{\text{екв}} \geq [n_\sigma], \quad (7.2)$$

де σ_{lim} – гранична напруга;

$\sigma_{\text{екв}}$ – еквівалентна напруга, обумовлена по одній з теорій міцності.

2 Розрахунок по граничних навантаженнях:

$$n_Q = Q_{\text{lim}} / Q_{\text{раб}} \geq [n_Q], \quad (7.3)$$

де Q_{lim} – граничне навантаження, при якій відбувається втрата працездатності;

$Q_{\text{раб}}$ – робоча (експлуатаційна) навантаження.

3 Розрахунок по довговічності:

$$n_L = L_{\text{lim}} / L_{\text{раб}} \geq [n_L], \quad (7.4)$$

де L_{lim} – граничний наробіток деталі в ході експлуатації, по досягненні якої наступає втрата її працездатності;

$L_{\text{раб}}$ – робочий або нормативний наробіток, прийнятий у якості припустимої при експлуатації.

Нормативні коефіцієнти запасу міцності $[n_\sigma]$, $[n_Q]$, $[n_L]$ встановлюю

ються на основі досвіду розрахунків і проектування машин і зіставлення їхніх значень із результатами спостережень за поведінням машин у ході експлуатації.

Ці значення залежать від відповідальності конструкції, рівня технології виготовлення, однорідності властивостей матеріалу, виду навантажень, характеру й ступеня небезпеки руйнування, точності визначення навантажень і характеристик міцності й ряду інших факторів.

У деяких підручниках рекомендується диференціальний метод визначення нормативного коефіцієнта запасу міцності, відповідно до якого ця величина представляється у вигляді добутку коефіцієнтів, кожний з яких враховує окремий фактор і вибирається також у деяких межах. При довільному виборі коефіцієнтів у заданих межах можна одержати більші коливання величини нормативного коефіцієнта запасу міцності. У результаті отримане значення нормативного коефіцієнта запасу міцності може не відповідати оптимальному.

Розрахунок на міцність при статичних навантаженнях

При статичних навантаженнях розрахунок на міцність деталей із пластичних матеріалів виробляється по границі текучості матеріалу. Напруги, що допускають, у цьому випадку

$$[\sigma] = \sigma_T / [n_T], \quad (7.5)$$

де $[n_T] = 1,5 \dots 2,5$ (невеликі значення нормативного коефіцієнта запасу міцності обумовлюються тим, що досягнення робочими напругами границі текучості не приводить до руйнування деталі, а приводить до появи пластичної деформації частини її обсягу й можливих залишкових змін форми й розмірів).

Якщо буде потреба розрахунок ведуть по граничних навантаженнях, що обчислюють із урахуванням допуску певних пластичних деформацій.

Варто мати на увазі, що з ростом розмірів деталі границя текучості знижується внаслідок погіршення якості металу через зниження ступеня пластичної деформації при заготівельних операціях, погіршення умов термічної обробки, підвищення неоднорідності металу.

Якщо границя текучості визначена на зразках, вирізаних із заготовок малих розмірів і немає даних про вплив масштабного фактора, можна визначити границю текучості по наближеній формулі:

$$\sigma_T = K_1 \sigma'_T, \quad (7.6)$$

де σ'_t – границя текучості, певний на зразках;

K_1 – масштабний фактор.

Для вуглецевих сталей $K_1 = 1$, а для легованих:

$K_1 = 1 - 0,21g(d/7,5)$ – при діаметрі деталі $d \leq 150$ мм;

$K_1 = 0,74$ – при діаметрі деталі $d > 150$ мм.

Розрахунок на міцність при статичних навантаженнях деталей з тендітних матеріалів виробляється по межі міцності при розтяганні й стиску. При цьому допускають напруження

$$[\sigma_b] = \sigma_b K_{ds} / ([n_b] K_s), \quad (7.7)$$

де $[n_b] = 2,5 \dots 4 \dots 4,0$ – коефіцієнт запасу міцності по межі міцності для деталей з тендітних матеріалів;

$K_{ds} = (\sigma_b)_d / (\sigma_b)_{10}$ – коефіцієнт впливу діаметра зразка на межу міцності крихких матеріалів;

$(\sigma_b)_d$ – межа міцності матеріалу деталі натурних розмірів без концентраторів напруг;

$(\sigma_b)_{10}$ – межа міцності матеріалу гладкого зразка діаметром 10 мм;

$K_s = (\sigma_b)_d / (\sigma_b)_D$ – ефективний коефіцієнт концентрації напруг при статичних навантаженнях для тендітних матеріалів;

$(\sigma_b)_D$ – межа міцності матеріалу деталі натурних розмірів з концентраторами напруг.

Для деталей, що перебувають у тендітному стані, нормативний коефіцієнт запасу міцності вибирають завищеним, з огляду на раптовість такого руйнування при досягненні напругами граничного рівня й більше істотне розсіювання характеристик міцності тендітних матеріалів.

Література: [2, с.89-101]; [5, с.23-34].