Лекція 11

ОЦІНКА РОЗРАХУНКОВИХ ХАРАКТЕРИСТИК ОПОРУ УТОМИ Й ЕКСПЛУАТАЦІЙНОГО НАВАНТАЖЕННЯ МАШИН

Фактори, що впливають на опір втоми

У результаті проведення численних експериментів по визначенню опору утоми σ_{-1} для деталей натурних розмірів виявилося, що опір утоми для деталей натурних розмірів σ_{-1D} звичайно в 2. 6…6 раз менше, ніж для гладкого лабораторного зразка малого діаметра (близько 7,5 мм).

Для оцінки цієї різниці використається коефіцієнт ДО, що враховує вплив всіх факторів, властивих деталі натурних розмірів, що працює в певних умовах, на опір утоми:

$$K = \sigma_{-1} / \sigma_{-1D}.$$

У загальному випадку на опір утоми впливають наступні фактори:

- концентрація напруг;
- масштабний фактор (вплив розмірів поперечного переріза);
- якість обробки поверхні;
- експлуатаційні фактори (вплив температури, корозії, частоти зміни навантаження й ін.);
- технологічні методи поверхневого зміцнення деталей (поверхневе пластичне деформування, хіміко-термічні методи, поверхневе загартування й ін.).

У зварених з'єднаннях істотну роль грають також дефекти зварювання (непровари, підрізи, тріщини, включення) і залишкові напруги.

Концентрація напруг

Якщо перетин деталі міняється в якому-небудь місці (наприклад, у місці східчастого переходу, у канавці, різьбленні, у крайки отвору, у шпонкового паза), то максимальні напруги в цьому місці будуть перевищувати номінальні напруги, обумовлені по традиційних формулах опори матеріа- лів:

$$\sigma_{изг} = M_{изг} / W_{изг}; \sigma_{р(сж)} = P / F; \tau_{кр} = M_{кр} / W_{кр}.$$

Явище місцевого перевищення напруг у порівнянні з номінальними в зонах різкої зміни розмірів й обрисів деталі називають концентрацією напруг.

Для характеристики цієї різниці в напругах уводиться теоретичний коефіцієнт концентрації напруг:

$$\alpha_\sigma = \sigma_{max} / \sigma_{ном}. \qquad (8.1)$$

Величини α_σ для різних деталей знаходять або методами теорії пружності, або спеціальними експериментальними методами.

Коефіцієнт α_σ істотно залежить від плавності переходів при зміні перетинів ρ (рис. 8.1).

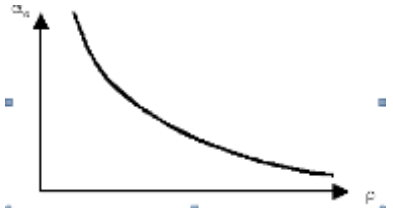


Рисунок 8.1 – Залежність коефіцієнта концентрації напруг α_σ від радіуса кривизни поверхні ρ

Фактичне зниження границі витривалості деталі внаслідок концентрації напруг характеризується ефективним коефіцієнтом концентрації напруг:

$$K_\sigma = \sigma_{-1d} / \sigma_{-1D}, \qquad (8.2)$$

де σ_{-1d} – границя витривалості зразка без концентрації напруг з розмірами поперечного переріза, рівними розмірам поперечного переріза деталі (для відділення впливу масштабного фактора).

Масштабний фактор

Вплив масштабного фактора проявляється у впливі абсолютних розмірів поперечного переріза гладких зразків на границю витривалості. Для характеристики цього впливу використається коефіцієнт

$$K_{d\sigma} = \sigma_{-1d} / \sigma_{-1}. \qquad (8.3)$$

Основними причинами прояву масштабного ефекту є металургійний, технологічний і статистичний фактори.

Металургійний фактор зв'язаний зі зниженням механічних властивостей матеріалу з ростом розмірів виливка або кування. При збільшенні діаметра заготівлі з 10 до 500 мм границя витривалості для вуглецевих сталей знижується на 10 %, а для легованих – на 15...20 %. Це зниження границі витривалості зв'язано зі зниженням деформації при куванні, погіршенням умов термічної обробки великих заготовок, підвищенням неоднорідності металу.

Для границі витривалості вплив металургійного фактора в ГОСТ 25504-82 оцінюється коефіцієнтом K_1: $\sigma_{-1} = K_1 \sigma'_{-1}$.

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

$$K_1 = 1 - 0{,}2 \lg(d / d_0) \text{ – при } d \le 150 \text{ мм};$$
$$K_1 = 0{,}74 \text{ – при } d > 150 \text{ мм}, \qquad (8.4)$$

де $d_0 = 7{,}5$ мм.

Для деталей із сірого чавуну вплив металургійного фактора більш істотно. Так, при збільшенні діаметра заготовки або товщини стінки до 50 мм межа міцності й границя витривалості зменшуються на 50. 80…80 %

Технологічний фактор. Його вплив пов’язане з тим, що при механічній обробці в поверхневому шарі зразків створюються наклеп і залишкові напруги.

Статистичний фактор. З підвищенням постійної варіації напруг, що характеризує чутливість матеріалу до концентрації напруг і масштабному факторові, масштабний ефект збільшується.

Вплив цього фактора, як і вплив концентрації напруг і виду навантаження, порозуміється статистичною теорією подоби втомлювального руйнування, заснованої на використанні статистичної теорії міцності «найбільш слабкої ланки» Вейбулла. Зміст останньої зводиться до того, що з ростом числа ланок, тобто розміру ланцюга, імовірність руйнування ланцюга зростає при незмінній ймовірності руйнування однієї ланки.

Фретинг-корозія

У місцях запресовування на вал або вісь деталей (шестірні, підшипники, втулки) і в ряді інших випадків контакту деталей, виникає різке зниження (в 3...6 разів) границі витривалості. Для таких сполучень зародження втомлювальної тріщини виникає в краю напресованої деталі.

Після розпресування з'єднання на поверхні контакту можна виявити сліди корозії у вигляді затемнених плям, а при контакті сталевих деталей – і червоний порошок, що складається з окислів заліза. Дане явище називається фретинг-корозією.

Причинами зниження границі витривалості при фретинг-корозії є концентрація напруг у краю контакту й складні механічні й фізико-хімічні процеси, що протікають на стику двох деталей при малих взаємних циклічних проковзуваннях внаслідок пружних деформацій деталей.

Для валів з напресованою деталлю, що передають силу й момент, відношення $K_\sigma / K_{d\sigma}$, що характеризує зниження границі витривалості внаслідок концентрації напруг і масштабного фактора, може бути розраховано:

$$K_\sigma / K_{d\sigma} = \sigma_{-1} / \sigma_{-1D} = (K_\sigma / K_{d\sigma})_0 \, \xi' \xi' \,, \qquad (8.5)$$

де відповідні співвідношення й коефіцієнти можна знайти:

$$(K_\sigma / K_{d\sigma})_0 = 0{,}38 + 1{,}48 \lg d \ - \text{при } d < 150 \text{ мм};$$

$$(K_\sigma / K_{d\sigma})_0 = 3{,}6 \ - \text{при } d \geq 150 \text{ мм};$$

$$\xi' = 0{,}305 + 0{,}00139\sigma_b;$$

$$\xi' = 0{,}65 + 0{,}014\sigma_b \ - \text{при } p \leq 25 \text{МПа}; \ \xi' = 1 \ - \text{при } p > 25 \text{МПа};$$

p – тиск посадки (при напресуванні кільця визначається по формулі Ляме).

Якщо в з'єднанні навантаження відсутні, то вираз (8.5) необхідно помножити на 0,85.

Для зменшення впливу фретинг-корозії на границю витривалості застосовують різні конструктивні й технологічні заходи.

Конструктивні заходи

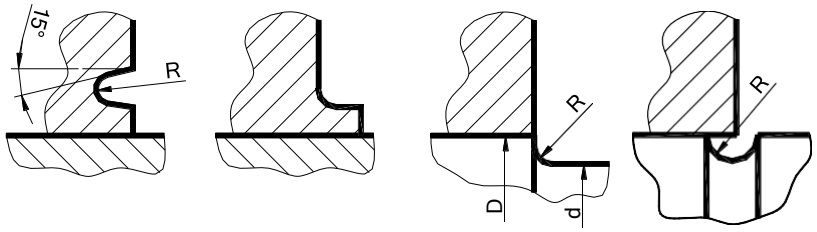
1 Виточення, що розвантажує, на торці (рис. 8.2, а).

2 Поясок на торці (рис. 8.2, б).

3 Стовщення підступичної частини (рис. 8.2, в).

4 Виточення, що розвантажує, у вала нанесена накаткою (рис. 8.2, г).

К технологічним заходам ставляться різні методи поверхневого зміцнення.



а) *б)* *в)* *г)*

Рисунок 8.2 – Конструктивні заходи по зниженню впливу фретинг-корозії на границю витривалості

Якість обробки поверхні

Мікронерівності на поверхні, що залишаються після механічної обробки, є джерелами концентрації напруг, що знижують границя витривалості, причому тим більшою мірою, чим вище межа міцності сталі. Це пов'язане з тим, що з ростом межі міцності збільшується чутливість сталі до концентрації напруг. Коефіцієнт впливу якості обробки поверхні:

$$K_{F\sigma} = \sigma_{-1Rz} / \sigma_{-1Rz\le 1} = 1 - 0{,}22 \lg Rz \left[\lg(\sigma_b / 20) - 1\right] - \text{при } Rz > 1 \text{ мкм};$$

$$K_{F\sigma} = 1 - \text{при } Rz \le 1 \text{ мкм}. \qquad (8.6)$$

Корозія

Корозія при одночасній дії змінних напруг підсилює інтенсивність утворення й розвитку втомлювальних тріщин. Це явище називається корозійною утомою. Крива корозійної утоми не має горизонтальної ділянки. Границя витривалості при цьому постійно знижується із часом.

Вплив корозії на границю витривалості гладких зразків ураховується коефіцієнтом

$$K_{кор} = \sigma_{-1кор} / \sigma_{-1}, \qquad (8.7)$$

де $\sigma_{-1кор}, \sigma_{-1}$ – границі витривалості гладких лабораторних зразків в умовах корозії й на повітрі відповідно.

Ефективними методами підвищення опору корозійної утоми є застосування технологічних методів поверхневого зміцнення.

Технологічні методи поверхневого зміцнення

У машинобудуванні знайшли широке застосування методи поверхневого зміцнення, які дозволяють в 1,5...3 рази підвищити границя витривалості й в 5...10 разів – довговічність.

До зазначених методів ставляться:

- поверхнево-пластичне деформування (обкатування роликами, обдування дробом, карбування й ін.);
- хіміко-термічні методи (азотування, цементація, ціанування);
- поверхневе загартування нагріванням струмами високої частоти або променем лазера;
- комбіновані методи (цементація з наступним обдуванням дробом і т.п.);
- інші методи, які застосовуються у виняткових випадках (плазменне напилювання, поверхневе легування й т.д.).

Вплив поверхневого зміцнення враховується коефіцієнтом

$$K_{\nu} = \sigma_{-1Dуп} / \sigma_{-1D}, \qquad (8.8)$$

де $\sigma_{-1Dуп}$ – границя витривалості деталі зі зміцненою поверхнею.

Література [5, с.47-132].