

THE DESTINATION OF THE STRAIN RESPONSE USING THE STRAIN-GAUGE ANALYSIS

UŽITÍ TENZOMETRICKÉ ANALÝZY K URČENÍ DEFORMAČNÍ ODEZVY PŘI KOMBINOVANÉM ZATĚŽOVÁNÍ

Růžička Milan

This paper presents methods for fatigue live prediction using „local approach“. As the input for the lifetime calculation is the measurement of the dynamic signals, obtained by means of strain gauges, is frequently used. This being both in the nominal (elastic stress) and in a chosen local area (elasto-plastic stress) of the machine part. The presented analysis is based both on the simple and multiaxial loading. Using the experimental results the load-strain curves were plotted. For the rain-flow counting method and life prediction application this curves were used.

Úvod:

Jedním z postupů predikce životnosti strojních částí do vzniku technické trhliny (rozumí se trhlina délek 0.5 až 1 mm) je tzv. lokální přístup podle napětí a deformací v kritickém místě části, obvykle v koncentrátoru (ve vrubu). Metoda vychází z předpokladu, že k trhlíně v tomto místě součásti dojde po stejném počtu cyklů, při kterém se poruší hladký materiálový vzorek zatěžovaný stejnou hodnotou amplitudy poměrné deformace (obvykle elasto-plastickou), která je identická s hodnotou vyskytující se v kritickém místě součásti. Jedná se obvykle o jednoduché osové zatěžování součástí i vzorku.

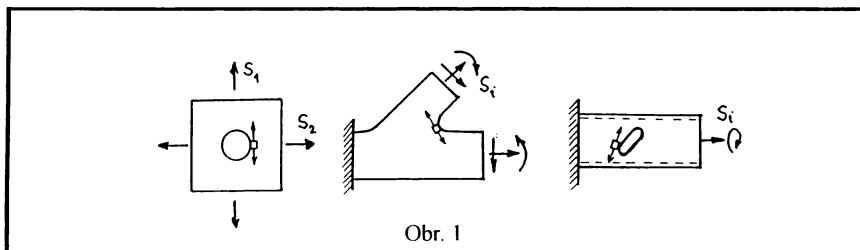
Predikce životnosti při časově složitém (náhodném) průběhu zatěžování vychází z principu hysterezní odezvy materiálu v kritickém místě, která respektuje uzavírání jednotlivých hysterezních smyček a efekt paměti materiálu. Tyto procesy lze zahrnout použitím metody stékání deště (rain-flow method) nebo metody přípustných úseků při zpracování kmitavého procesu. Životnost části je možno výpočtově odhadnout po sestavení tzv. poškozujícího parametru P , který zohlední střední napětí kmitu resp. další vlivy, a z odvozené příslušné rovnice životnosti pro danou metodu.

$$P(\sigma_a, \sigma_m) \quad P(N)$$

Pro uvedené metody zpracování signálu a metody predikce jsou na našem pracovišti vytvořeny počítačové programy ; byly například popsány v článku [1].

Problematika poškozování při vicesložkovém zatěžování:

Vicesložkové zatížení lze rozdělit na proporcionální a neproporcionální. Jako proporcionální vicesložkové namáhání nazýváme zpravidla zatížení, které splňuje podmínku konstantního poměru hlavních poměrných deformací, takže i hlavní směry napětí zůstávají neměnné. Pokud se tyto směry v časovém průběhu výrazně mění, liší se i poměry mezi napětími a zatížení je neproporcionální. Protože většinou dochází k iniciaci poškození na povrchu vrubu, lze uvažovat napjatost na povrchu jako napjatost rovinnou. V jednodušších případech můžeme považovat lokální napětí elementu v kritickém místě jako jednoosé. Některé typické případy takových vrubů ukazuje obr. 1.



Obr. 1

Pro výpočet poškozujícího parametru při vicesložkovém namáhání může sloužit např. Smith-Watson-Topperův parametr

$$P(\sigma_{I \max}, \Delta \varepsilon_I) \quad (1)$$

kde

$\Delta \varepsilon_I$ je větší z hlavních amplitud poměrné deformace, $\sigma_{I \max}$ je maximální (horní) napětí v rovině hlavní poměrné deformace, nebo parametr, který navrhl Socie [3]:

$$P(\gamma_{ci} + \varepsilon_a + \sigma_a / E) \quad (2)$$

kde jsou sečteny složky amplitud zkосу a poměrného prodloužení se složkou deformace od středního napětí. Zde se budeme zabývat problematikou proporcionálního zatěžování "jednoosé" namáhaných vrubů.

Deformační odezva materiálu při cyklickém jednoosém zatěžování je popsána cyklickou deformační křivkou materiálu:

$$\varepsilon_a = \frac{\sigma_a}{E} + \left(\frac{\sigma_a}{K} \right)^{1/n} = \frac{\sigma_a}{E} + \varepsilon_f \left(\frac{\sigma_a}{\sigma_f} \right)^{c/b} \quad (3)$$

Při vicesložkovém zatěžování se ukázalo, že dochází k odlišnému chování oproti cyklické deformační křivce, což se projevuje zpevňováním (změkčováním) materiálu v lokální oblasti vrubu [2]. Parametry namáhání ve vrubu (lokální napětí σ a poměrná deformace ε) se obvykle určují z fiktivních elastických napětí ve vrubu σ_{fk} (určených z výpočtů MKP nebo analyticky) s využitím přepočtu podle přibližných formulí, např. podle Neuberova pravidla:

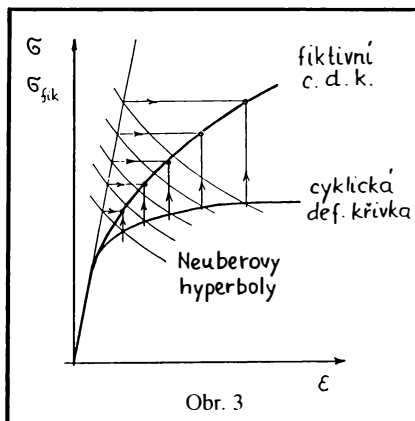
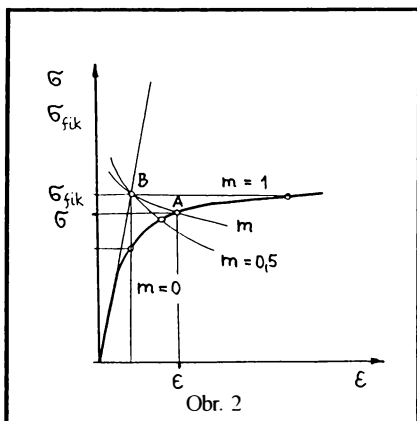
$$\sigma \cdot \varepsilon = \frac{\sigma_{fk}^2}{E} \quad (4)$$

které lze zobecnit (viz Pospíšil [4])

$$\frac{\sigma_{fik}}{E} = \varepsilon_e^m \cdot \varepsilon^{1-m} \quad (5)$$

kde ε_e je elastická a ε celková poměrná deformace ve vrubu. Exponentem m lze však zohlednit případné zpevnění a změkčení oproti standardnímu Neuberovu exponentu $m = 0.5$, jak ukazuje obr. 2.

Pro usnadnění výpočtů deformací ve vrubu se sestavuje závislost mezi fiktivním (elastickým) napětím a poměrnou deformací ve vrubu $\sigma_{fk} - \varepsilon$ jako tzv. „fiktivní deformační křivka“. Její konstrukce za užití rovnice cyklické deformační křivky (3) a Neuberova pravidla (4) je ukázána na obr. 3.

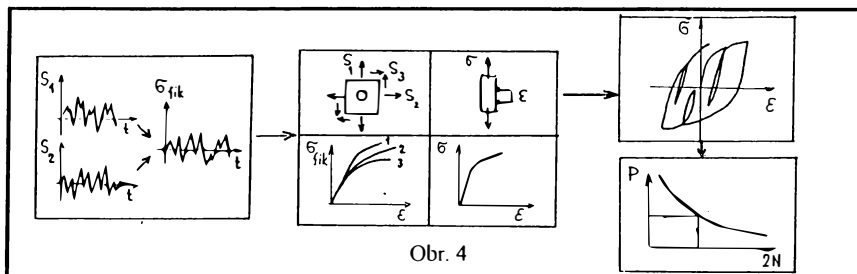


Při kombinovaném (vicesložkovém) namáhání lze fiktivní elastickou napjatost, která bude v kořeni vrubu vyjádřit jako lineární kombinaci jednotlivých zátěžných účinků S_i do vrubu (viz obr. 1)

$$\sigma_{fk} = K_{l,1} \cdot S_1 + K_{l,2} \cdot S_2 + K_{l,3} \cdot S_3 + \dots + K_{l,j} \cdot S_j + \dots + K_{l,i} \cdot S_i \quad (6)$$

Bude-li tedy známa fiktivní deformační křivka, příslušející k danému kombinovanému zatěžování, lze z ní pro vypočtená elastická napětí určovat hodnoty poměrných deformací i

napětí ve vrubu a pro složité provozní zatěžování rekonstruovat hysterezní cyklickou odezvu materiálu v tomto místě (např. užitím metody stékání deště), jako vstupy pro metody kumulace poškození pro výše zmíněné poškozující parametry. Postup predikce životnosti je potom schematicky naznačen na obr. 4.



Návrh konstrukce fiktivní deformační křivky pomocí tenzometrické analýzy napětí

Na zkoumaný vzorek (součást) instalujeme tenzometry ve vztažném (nominálním) místě a to nejlépe tak, abychom mohli separovat jednotlivé zatěžující účinky při kombinovaném namáhání. Zároveň instalujeme tenzometr do předpokládaného místa největšího únavového poškození (ve směru hlavního napětí na nezatíženém povrchu vrubu).

Zatížíme-li vzorek postupně jednotlivými složkami namáhání nebo i jejich kombinovaným působením (pokud lze účinky od sebe vzájemně separovat) tak, aby nominální i lokální místo bylo v elastické oblasti deformací, lze určit součinitele koncentrace v rovnici (6) mezi oběma řezy. Při dalším zatěžování do oblasti rozvinutých plastických deformací v lokálním řezu, tak můžeme ze známých faktorů koncentrace složek namáhání vypočítat fiktivní elastickou napjatost σ_{fk} v tomto místě a zároveň tenzometricky určit skutečnou hodnotu lokální poměrné deformace ε . Při znázornění v obr. 3 tak známe dva body (body A a B), kterými musí procházet zobecněná Neuberova parabola, rov (5). Jejím proložením určíme zobecněný exponent m , který platí pro danou kombinaci zatěžování kritického řezu. Z rovnice (5) vyjádříme

$$m = \frac{\log \sigma_{fk} - \log E - \log \varepsilon}{\log \varepsilon_c - \log \varepsilon} \quad (7)$$

kde $\varepsilon_c = \sigma/E$. Skutečnou přizpůsobenou hodnotu napětí ve vrubu σ vypočteme iteračně z rovnice cyklické deformační křivky (3) po dosazení experimentálně změřené hodnoty ε ve vrubu.

Hledanou fiktivní deformační křivku můžeme pro potřeby výpočtů popsat modelem analogickým rovnici (3) s hledanými K_{fk} a n_{fk} a využít ji ve výpočtových metodách životnosti.

Literatura:

- [1] RŮŽIČKA, M.: Predikce životnosti strojních částí na základě lokální deformační odezvy materiálu. Sborník z kolokvia Dynamika strojů, Ústav termomechaniky AV ČR, 11.-13. dubna 1994.
- [2] BÄUMEL, A.: Experimentelle Untersuchung der Schwingfestigkeit randschichtverfestigter Bauteile. Institut für Stahlbau und Werkstoffmechanik, TH Darmstadt, 1991.
- [3] SOCIE, D.: Multiaxial Fatigue Damage Assessment. In Proc. of 2nd Int. Conf. on Low Cycle Fatigue. München, 1987.
- [4] POSPÍŠIL, B.: Využití zobecněného Neuberova principu pro výpočty deformací při creepu. Strojírenství 27, 1977, č. 10, str. 624-627.



ing. Milan Růžička, CSc.

ČVUT Fakulta strojní, Katedra pružnosti a pevnosti,

Technická 4, 166 07 Praha 6

tel.: (02) 2435 2512, fax: (02) 24310292