

Ing. Přemysl S i x t a
Ing. Ladislav R u s, CSc
VÚML, Lokomotivka - Sokolovo, ČKD Praha

System pro vyhodnocování pevnostních a dynamických měření lokomotiv.

Úvod

Současná doba klade velký důraz na využití materiálu při výrobě různých mechanismů a konstrukcí a proto je nezbytné řešit otázku únavové životnosti a spolehlivosti. Tento problém se rozpadá na dvě oblasti - na stanovení doby do iniciace trhliny a na dobu šíření trhliny až do lomu. K výpočtu únavového poškození pro součásti s vruby s časově proměnlivým zatížením byl vypracován soubor programů pro počítače ve Výpočetním centru ČKD Praha. V roce 1980 byla jejich podstatná část převedena na hybridní systém ADT 7300, který nám umožňuje přímo zpracovávat analogový signál z měřicího magnetofonu.

Stručné matematické popisy.

V první fázi je nutné zpracovat naměřený analogový signál z měřicího magnetofonu. Počítač ADT 7300 nám umožňuje buď přímo digitalizovat signál s libovolnou frekvencí do 30 kHz a pak tyto údaje zpracovávat číslicově, nebo před vlastní digitalizací signál na analogové části jednotky připravit na př. tak, že odečítáme pouze významné extrémy.

Pro vlastní výpočet doby životnosti se ukázalo, že je možno i velmi podstatně zredukovat počet naměřených bodů daného zatížení, aniž by to mělo vliv na odhad doby života. Podle současných znalostí jsou pro únavové poškození rozhodující jednotlivé extrémy zatížení a proto není přihlíženo k průběhu zatížení mezi špičkami.

K redukci těchto extrémů jsme nejprve užívali algoritmu, ve kterém se vypouštěli ty hodnoty, které v určitém intervalu měli diferenci dvou po sobě následujících hodnot menší než zadané delta. Jako výhodnější se ukázala metoda nazývaná RACETRACK, která vyloučí dva po sobě jdoucí extrémy, jejichž diference je menší než

$$d = \text{DMIN} * (\text{MAX} - \text{MIN})$$

kde DMIN - zadávaná filtrační úroveň v intervalu (0;1)

MAX - maximální hodnota v původním průběhu

MIN - minimální hodnota v původním průběhu

Pro praktické výpočty se doporučuje volit několik filtrčních úrovní. Podle získaných zkušeností redukovany průběh s 10ti % původního počtu bodů ovlivní výpočet hodnot poškození jen cca o 5%.

Vlastní výpočet únavového poškození je možno provést volitelně podle metody RAINFLOW, LANDGRAF nebo WETZEL. Zmíněné metody jsou založeny na předpokladu, že vstupní zatížení jsou nominální hodnoty, které odpovídají namáhání v elastické oblasti materiálu. Pro tento výpočet je nutno ještě zadat informace o koncentraci napětí - součinitel vrubu K_F , údaje o materiálu, cyklickou křivku $\sigma - \epsilon$, která se udává v úsekovém tvaru pomocí přírůstků, atd. Při metodě RAINFLOW je pro každý rozkmit $\Delta \sigma$ půlcyklu zatížení vypočteno poškození D z modifikované mezní křivky pro součást s vrubem podle vztahu

$$D = \left(\frac{\sigma_f' \cdot K_f}{\frac{\Delta \sigma}{2}} \right)^{1/p}$$

kde p vyjadřuje korigovaný sklon mezní křivky. V metodách LANDGRAF a WETZEL se přepočítávají rozkmity nominálních namáhání $\Delta \sigma$ na rozkmity lokálních napětí ve vrubu pomocí dané cyklické křivky $\sigma - \epsilon$ postupem podle Neubergera. Jsou tedy určeny z průsečíku řídící hyperboly a odpovídajícího úseku stabilní cyklické křivky.

Dále se metoda LANDGRAF a WETZEL liší pouze ve vztahu pro výpočet únavového poškození. V metodě LANDGRAF je založen na mezní křivce dané vztahem

$$\frac{\Delta \varepsilon_t}{2} = \frac{\Delta \varepsilon_e}{2} + \frac{\Delta \varepsilon_p}{2} = \frac{\sigma'_f - \sigma_0}{E} (2 N_f)^b + \varepsilon'_f (2 N_f)^c$$

Metoda WETZEL vychází ze vztahu

$$\sigma_{max} \frac{\Delta \varepsilon_t}{2} = \sigma'_f \varepsilon'_f (2 N_f)^{b+c} + \frac{\sigma_f'^2}{E} (2 N_f)^{2b}$$

kde $\Delta \varepsilon_t$ - rozkmit celkových protažení

$\Delta \varepsilon_e$ - rozkmit elastických protažení

$\Delta \varepsilon_p$ - rozkmit plastických protažení

σ_0 - střední napětí ve vrubu

$2N_f$ - doba života

σ_{max} - největší tahové napětí

$\sigma'_f, \varepsilon'_f, b, c$ - konstanty materiálu

V programu je určeno poškození od jednoho rozkmitu pro jednotlivé úseky vztahem

$$D = \left(\frac{\sigma'_f}{E \varepsilon'_f} \cdot \frac{\Delta \varepsilon_p}{\Delta \varepsilon_e} \cdot \frac{\sigma'_f}{\sigma'_f - \sigma_0} \right)^{\frac{1}{b-c}}$$

Závěr

Výhody metody RAINFLOW jsou v tom, že se nevyžadují výpočty poměrů ve vrubu ani korekce na střední hodnotu napětí. Při výpočtu není respektován vliv pořadí zatížení. Výpočet je velmi rychlý a uplatňuje se při řešení problémů v oblasti dlouhých životností.

Metody LANDGRAF a WETZEL jsou přibližně 3x pomalejší. Tyto metody respektují pořadí zatížení, započítává se vliv zbytkových pnutí ve vrubu, je prováděna korekce na vliv středního napětí na poškození a dávají velmi dobrou shodu odhadu doby života se skutečností.

Dále byl pro počítače ve Výpočetním centru vypracován program, který je obecněji formulován - může respektovat počáteční protažení, simulovat opravy úseků stabilní křivky σ - ϵ s ohledem na postupné zpevňování či změkčování materiálu. Jsou v něm zahrnuty účinky cyklické relaxace či cyklického creepu na střední hodnotu napětí nebo protažení. Program umožňuje velmi obecné zadávání zatížení typu σ nebo ϵ tabulkou nebo jako bloky opakovaných zatížení a pod. Tento program je vhodné použít pro přesnější stanovení odezvy σ - ϵ materiálu, na př. při výzkumu hystereze, vnitřního tlumení materiálu a pod.

Podrobný popis těchto problémů s odkazy na literaturu je v interních zprávách ČKD Praha :

Ing. V. Synek : Praktické metody výpočtu únavové životnosti lokomotiv a jejich částí založené na cyklických deformačních vlastnostech materiálu s využitím počítače.

Ing. P. Sixta : Převod programů z počítače ICL na ADT 7300.
VÚML 645.49