

UPLATNĚNÍ EXPERIMENTÁLNÍ MECHANIKY PŘI PEVNOSTNÍM DIMENZOVÁNÍ TĚLES NAMÁHANÝCH MÍJIVÝM ZATĚŽOVÁNÍM

Ing Petr Jaroš, odd. experim. mechaniky, SVÜSS Běchovice

Abstract: The basic idea of material plastic reserve utilization in economic design of cyclically loaded parts is presented. The advantages and limitations of experimental strain analysis, specific problems of strain gauge applications and practical procedure experience is mentioned.

Úvod: Namáhání těles míjivým zatěžovacím stimulem, které je v praxi velice časté /např. přetlak, odstředivá síla, gravitace/ přináší z pohledu syntézy deformačně-napětové analýzy s reálnou mechanickou odezvou konstrukčních materiálů zajímavé poznatky, jejichž uplatněním lze dosáhnout odlehčení konzervativně navržených předdimenzovaných výrobků, případně jejich využití s vyššími parametry zatížení. Popis vzniklých nelineárních napětově-deformačních procesů, které jsou základem progresivních inženýrských aplikací /autofretáž, shake-down, plastické klouby/ lze navzdory pokrokům numerických výpočtových metod řešit teoreticky jen ve vyjimečných případech a zůstává zde tedy otevřené pole pro přímé testování a aplikaci metod experimentální mechaniky.

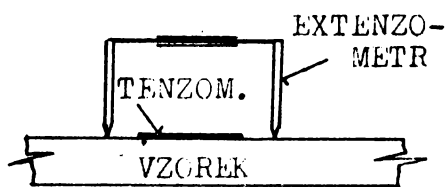
Jelikož dosud neexistuje metoda přímého stanovení napětí v kovech, je nutné provést náhradu této veličiny zatěžovacím stimulem /sílu, momentem, přetlakem, čtvercem otáček/. Přiřadíme-li stimulu svislou osu, pak při současném znázornění hlavní deformace na vodorovné ose získáme diagramy $F(\epsilon)$, které jsou navzdory zkreslení vůči fyzikálně čistým diagramům $\sigma(\epsilon)$ velmi cenné pro analýzu charakteru cyklu. Praktický experimentální postup musí být podřízen snaze o maximální věrnost zachycení deformační veličiny.

Experimentální postup:

1. Na základě výpočtu, známých teoretických a experimentálních řešení nebo celoplošné metody /např. křehký lak, foto-stress/ se určí kritická místa objektu, která se zpravidla shodují s maximy deformací v elastické oblasti.
2. Do těchto míst se instalují snímače deformací, které musí mít elektrický výstup úměrný deformaci v celém očekávaném rozsahu. Pro menší rozsah lze použít odporové tenzometry, pro větší rozsah je třeba dát přednost extenzometrům s vědomím, že jejich údaj bude průměrem deformace mezi jejich brity. Při možnosti volby tenzometru od světového výrobce je třeba věnovat pozornost dvěma základním parametrům:
 - maximální deformaci, pro kterou je údaj tenzometru věrný,
 - únavové životnosti při požadavku dlouhodobého sledování cyklů.

Obě tyto vlastnosti souvisí s mechanickou odolností materiálu mřížky tenzometru /zpravidla konstantanu/, která bývá v obou uvedených parametrech bohužel nižší, než u oceli. Z toho důvodu lze provádět tenzometrickou kontrolu jen omezeného počtu únavových cyklů sledovaného objektu, jelikož v mřížce probíhají únavové procesy ještě rychleji, než ve sledovaném kritickém místě. Z toho důvodu je účelné provedení vlastní kontroly charakteristiky použitého typu tenzometru a tmelu v rozsahu deformace, který se v konkrétní úloze vysky-

tuje. Tuto kontrolu lze provést po instalaci tenzometru na únavový vzorek s vysokou deformační mezí elasticity /např. titan, vysokopevnostní dural, pružinová ocel/ na základě konfrontace jeho údajů s údaji extenzometru umístěného nad



Obr. 1

ním /obr. 1/. Jedině tak je možné zaručit, že vznik nelinearity na diagramu $F(\epsilon)$ je skutečně projevem překročení meze úměrnosti materiálu objektu a nikoli změnou odporu vlastní mřížky po vzniku její plastické deformace. Podobně by měly být ověřeny i údaje po určitém počtu cyklů

požadované amplitudy, chceme-li sledovat nejen velikost amplitudy deformace, ale i posuv střední hodnoty jako projev cykl. tečení /ratcheting/. Zvláště tato druhá charakteristika tenzometru zpravidla nevyhoví, střední odpor tenzometru se posouvá /na tomto principu pracují S-N snímače/ a dochází předčasně k poruše měrného vinutí únavovým přetržením. Východiskem je nahrazení tenzometru novým /se snahou o maximální reprodukování instalačního procesu/ nebo použití extenzometru, který připadá v úvahu zejména v napětových polích s dostatečnou rovnoměrností typických pro velká tělesa.

3. Je účelné provést záznam funkce $F(\epsilon)$ /x-y zapisovačem nebo v paměti počítače/, jehož význam pro napětovou analýzu byl zmíněn v úvodu. U míjivého cyklu je zajímavá zatěžovací větev prvního půlcyklu, ale zásadní význam má až větev odlehčovací, jejíž amplituda deformace se zpravidla již příliš nemění ani při dalších cyklech a může v těchto případech sloužit k odhadu únavové životnosti porovnáním ustáleného rozkmitu deformace s Manson-Coffinovou křivkou životnosti materiálu objektu, která může být experimentálně stanovena i pro reálný povrch, přítomnost svaru a pod. Při existenci cyklického creepu nelze tohoto postupu použít a objekty, které jej vykazují, jsou zpravidla nevhodné pro cyklické namáhání. Pro důkaz tohoto jevu je důležitá výše zmíněná věrnost údajů snímače deformace.

4. Při oprávněném předpokladu jednoosé deformace je možné simulovat měřený cyklus na vzorcích stejného materiálu pomocí elektrohydraulického pulsátoru v režimu řízené deformace /tvrdý zatěžovací cyklus/, což umožňuje zpřesnit odhad únavové životnosti analyzovaného objektu.

Závěr: Hlavní předností naznačeného postupu je, že je založen na reálné fyzikální veličině, kterou je časový průběh poměrné deformace. Vyhodnocení napětí, ať už ve smluvní formě fiktivního napětí dle přístupu Langerova používaného v ASME nebo ve snaze o rekonstrukci průběhu na základě některé z teorií plasticity, není při uvedeném postupu nutné. Nevýhodou čistě experimentálního přístupu je jeho obtížná realizovatelnost v nepřístupných místech a při vysoké lokální koncentraci napětí. Znesnadnění odhadu životnosti představuje rovněž víceosá napjatost a vysoký gradient deformace v posuzovaném místě. Nejsložitějším případem pro posouzení je neproporcionální víceosé namáhání, při kterém dochází ke změně hlavních směrů a převod na jednoosé namáhání s ekvivalentním únavovým účinkem je obecně velmi obtížný.