EAN 93
31. konference o experimentální analýze napětí
25.–27.5.1993 Měřín ČESKÁ REPUBLIKA

STRUCTURE PRESTRESS IDENTIFICATION
IDENTIFIKACE PŘEDPĚTÍ V KONSTRUKCÍCH

Beneš J., Šebková H., Veselý E.

The paper describes methods of structure prestress identification - some of them are based on the analysis of a single propagating pulse , others use spectral characteristics measurement. These methods were succesfully employed for the determination of prestress in bolted conections, sheets of stators of hydrogenerators, etc.

Úvod.
Provozuschopnost různých strojních konstrukcí je velmi často ovlivňována stavem vnitřních pnutí. Vnitřní pnutí, způsobená nevhodným tepelným zpracováním součástí či nepříznivým rozložením teplotních pnutí, způsobených špatnou konstrukcí či jejím špatným provozem, mají jednoznačně negativní vliv na provozuschopnost a je je třeba minimalizovat. Určitá vnitřní pnutí jsou však naopak nutnou podmínkou pro správný provoz konstrukce. Jde např. o dostatečná předpětí šroubových spojů, předpětí pohonových řetězů, řemenů a konstrukčních lan, předpětí v listěných konstrukcích skládaných statorů a rotorů elektrických strojů a pod.
Velmi často tato předpětí ovlivňují modální vlastnosti konstrukce či její části. Tyto modální vlastnosti jsou však kromě předpětí ovlivňovány i dalšími vlivy jako jsou uložení, opotřebení apod. Pro určité typy konstrukcí lze vypracovat vhodné postupy, které dovolí jednotlivé provozní parametry separátně identifikovat.
Obecně můžeme tyto dynamické testovací postupy rozdělit do dvou skupin:

a) Metody, vycházející z analýzy průchodu osamělého pulsu [1,2]. Tyto postupy jsou vhodné pro "lineární" útvary jako jsou lana, řetězy, tyče a pod. Analýza spočívá ve vyhodnocení dispersních vlastností vln dostatečně krátkých vlnových délek, anebo ve stanovení limitních vlastností dispersních závislostí, jako jsou rychlosti šíření čela

pulsu a čel charakteristických typů vln. Těmito postupy lze separovat některé vlivy, především vliv uložení.

b) Metody založené na modální analýze [3]. Ty vycházejí z analýzy dynamických vlastností celé součásti či konstrukce včetně jejího uložení. Obvykle uložení konstrukce ovlivňuje různě jednotlivé vlastní tvary kmitání. Vhodné uspořádání testovacího experimentu i výběr vhodných vlastních tvarů dovolí separaci dílčích vlivů.

Pro ilustraci principů a možností uvedených skupin testovacích experimentů uvedeme řešení dvou typických problémů technické praxe.

Určení předpětí v listěné konstrukci

Takovouto konstrukcí je např. svazek statorových plechů. V důsledku kontaktních nerovností jednotlivých lakovaných plechů má deformační charakteristika ve směru stahovací síly progresivní charakter. Vhodné stažení plechů je nutnou podmínkou pro správný chod elektrických generátorů. Pro identifikaci předpětí jsme využili metodu analýzy šíření osamělého pulsu. S ohledem na složitost skutečných skládaných statorových konstrukcí - v příčném řezu zuby a drážky pro vinutí, v osovém zase periodicky umístěné chladící kanály (schéma podélného řezu viz obr.1) je velmi obtížné vybudit osamělý puls. Proto jsme jako identifikačního znaku využili rychlost šíření čela pulsu. Při ověřovacích experimentech (na modelovém zařízení) popsaných v [5] se ukázalo nejvýhodnější měření na "zubech" statoru. I zde je však situace komplikována tím, že čelo vlny, tvořené dilatační vlnou, ztrácí rychle svou výraznost. Schématicky tuto skutečnost ilustruje obr.2, znázorňující distorsi procházejícího pulsu pro jednotlivé vzdálenosti x od pulseru (měření na statoru skutečného stroje obr.1). Měření na tomto stroji však potvrdila, že je možné posoudit stejnoměrnost stažení statorových plechů po obvodu stroje. V případě, že použijeme popsanou metodu při postupném stahování, pokles gradientu průběhu rychlosti v závislosti na svíracím tlaku signalizuje dostatečnost předpětí a nevhodnost dalšího předpínání [5].

Určení předpětí šroubových spojů

Předepjatý šroub (pokud není v otvoru zalícován), představuje tyč osově zatíženou silou N, na obou koncích příčně i torsně pružně uloženou. Tyto tuhosti nemusí být vůči ose šroubu dokonale symetrické (obvykle vykazují "slabou" ortotropii). Schematicky je situace znázorněná v obr.3. Konkrétní experimentální zařízení je schematicky znázorněno v obr.4.

Zjednodušená teorie výpočtu vlastních frekvencí tyče znázorněné v obr.3 ukazuje, že jednotlivé vlastní tvary pro podélné torsní a ohybové kmitání lze počítat separátně, že nedochází k vzájemnému ovlivnění. Dále teorie vede k výsledku, že osovou silou jsou ovlivněny pouze hodnoty vlastních frekvencí pro příčné - ohybové kmitání. Tedy by mělo být možné hodnotu osové síly v tyči N - předpětí šroubu určit z hodnot rezonančních frekvencí příslušných ohybovému kmitání. Experimenty uskutečněné na zařízení znázorněném v obr.4 tyto

teoretické závěry potvrdily. Z experimentů dále vyplynulo, že není nutné, aby pro měření byl přístupný dřík šroubu (poloha budiče a akcelerometru "A"), ale že pro buzení i snímání vibrací postačuje jen přístupný konec šroubu, tj. hlava či matice (situace "B"). V tomto druhém případě použijeme pro zvýraznění ohybového kmitání magnetický nástavec šroubu, jak je v obr.4 patrné. Druhá část tohoto obrázku ukazuje naměřené průběhy přenosových charakteristik pro obě polohy snímání a buzení pro určitou hodnotu osového předpětí.

Předběžné měření na dříku šroubu, anebo teoretický výpočet, dovolují identifikaci resonančních vrcholů příslušných ohybovým tvarům kmitání. Při aplikaci postupu na dřík šroubu dochází k vybuzení jen těchto tvarů (Charakteristika A). Při aplikaci na vyčnívajícím konci v důsledku komplikovanějšího přenosu budící síly přes matici a závit a i přidáním magnetického nástavce jsou vybuzeny i další parazitní rezonance, které se však při změně osové síly neposouvají. (Charakteristika B).

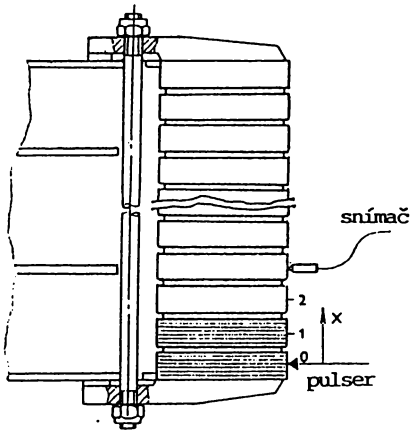
Můžeme konstatovat :

1) Změnou osového předpětí dochází k dobře měřitelným změnám rezonančních frekvencí ohybových kmitů.
2) Opakovaná měření byla dobře reprodukovatelná.
3) Máme-li možnost identifikovat tvary kmitů příslušné jednotlivým rezonančním vrcholům měřeným na dříku šroubu, lze následně pro identifikaci příslušných vlastních frekvencí užít i jen měření na vyčnívajícím konci šroubu.
4) Je pravděpodobné, že při reprodukovatelných materiálových a geometrických podmínkách budou reprodukovatelné i rezonanční charakteristiky. Proto navržený postup nalezne uplatnění např. při nutnosti kontroly předpětí šroubů při sériové výrobě (např. různé svorníky, šrouby hlav motorů a pod.).

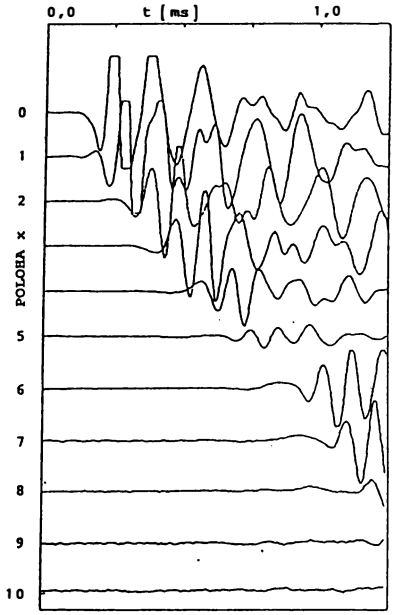
LITERATURA:

[1] Humen V., Potěšil A.: Experimentální impulsní metoda určující některé dynamické vlastnosti lineárního viskoelastického materiálu. Strojnícky čas., 37, 1986, č.1
[2] Beneš J.,Šebková H., Veselý E.: Stanovení dynamických charakteristik tyčí a řetězů. Strojnícky čas. 43,1992. č.3 str.203-214
[3] Kozánek J.: Vyhodnocení přenosové funkce z naměřených dat. Strojnícky čas. č.3, 1982
[4] Beneš J., Šebková H., Veselý E., Veselý J.: Dynamické charakteristiky předepjatých šroubů. Strojnícky časopis - v tisku
[5] Beneš J., Veselý E., Šebková H.: Využití pulsních metod pro identifikaci stavu konstrukcí. Sborník konference. Dynamika, pevnost a pružnost strojních konstrukcí. Ústav termomechaniky AV ČR, Svratka 1992

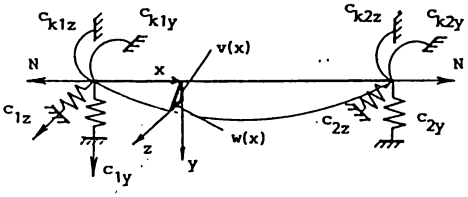
Josef Beneš,Ing.CSc.; Helena Šebková, Ing.CSc.;
Eduard Veselý, Ing. CSc.
Ústav termomechaniky AV ČR, Dolejškova 5, Praha 8, 182 00
Telefon 847 762/ Fax 858 4695



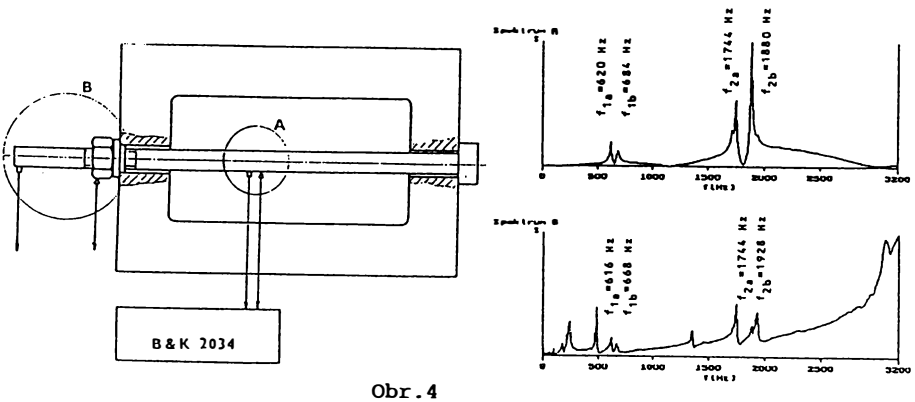
Obr. 1



Obr. 2



Obr. 3



Obr. 4