EAN '96

34th Conference of Experimental Stress Analysis
34. konference o experimentální analýze napětí
3. - 6.6. 1996, Plzeň, Czech Republic

STRAIN GAUGE MEASUREMENT AND CALCULATIONS OF BODYWORK FRAME OF BETA CAR

TENZOMETRICKÉ MĚŘENÍ A VÝPOČTY RÁMU KAROSERIE AUTOMOBILU BETA

Kepka,M.-Hejman,M.-Kotas,M.-Weinberg,O.-Frémund,J.

The paper describes measurements of stresses on bodywork frame of BETA car. There were taken measurements of stresses at static loading and at runnings over artificial obstacles and on real testing tracks. Computations of static stresses were performed with FEM-model of bodywork frame. Permissible values of dynamic stresses were calculated from the point of view of requiered operating fatigue life.

1. Úvod

Výzkumný ústav ŠKODA VÝZKUM, s.r.o., Plzeň, provedl v roce 1995 měření provozního namáhání ocelového svařovaného rámu karoserie užitkového automobilu BETA (výrobce: ŠKODA ELCAR, s.r.o., Ejpovice) za účelem předběžného posouzení provozní pevnosti a únavové životnosti [1].Na rámu karoserie bylo instalováno 40 tenzometrických snímačů HBM 6/120 LY11. Z důvodů symetrie rámu byla podrobně sledována jen pravá strana rámu. Tenzometry byly umístěny do všech důležitých konstrukčních uzlů rámu. Oblasti umístění některých tenzometrů (č.9, 24 a 34) jsou patrné z obr.1, na kterém je schématicky znázorněn výpočtový model rámu karoserie [2].Proměřena byla statická i dynamická napětí.

2. Statické zatížení

Statická napětí byla měřena pomocí ústředny HBM-UPM 60. Při statických zkouškách byly proměřeny následující zatěžovací stavy (ZS):
Najetí prázdného vozidla (s řidičem) na překážku o výšce +160 mm:
ZS1 - levé přední kolo, ZS3 - levé zadní kolo,
ZS2 - pravé přední kolo, ZS4 - pravé zadní kolo.
Najetí zatíženého vozidla (řidič + spolujezdec + 450 kg v nákladovém prostoru) na překážku o výšce +160 mm:
ZS5 - levé přední kolo, ZS7 - levé zadní kolo,
ZS6 - pravé přední kolo, ZS8 - pravé zadní kolo.
Maximální užitné zatížení:
ZS9 - hmotnosti řidiče, spolujezdce a 450 kg v nákladovém prostoru.
Maximální krut rámu prázdného vozidla (bez řidiče):
ZS10 - levé zadní kolo ve vzduchu, ostatní tři kola na podporách,
ZS11 - pravé zadní kolo ve vzduchu, ostatní tři kola na podporách.

Zvedání prázdného vozu na dílenském zvedáku:
ZS12 - čtyřbodové podepření vozidla v místech rámu, určených pro heverování.
Na obr.2 je ukázka zpracování výsledků měření statických napětí pro vybrané tenzometry č.9, 24 a 34.

Současně byl sestaven výpočtový model rámu karoserie pomocí programu COSMOS-EXPLORER (s omezením počtu prvků na 5000 a počtu uzlů na 3000). Geometrický model byl sestaven z prutových prvků BEAM3D a SHELL4. Uzly v partiích přední a zadní nápravy byly popsány pomocí skořepinových elementů a k prutové soustavě byly vhodně připojeny pomocí spojovacích elementů. Z pohledu porovnání výpočtových a naměřených hodnot napětí byly pro výpočet zvoleny nejpřesněji definovatelné zatěžovací stavy ZS9, ZS10, ZS11, ZS12. Pro zatěžovací stavy ZS9 a ZS12 se vypočtené hodnoty shodovaly s naměřenými hodnotami co do velikosti i znaménka. U zatěžovacích stavů ZS10 a ZS11 bylo dosaženo souhlasných znamének a globální shody v rozložení úrovně napjatosti v konstrukci. Výpočty potvrdily, že napětí bylo měřeno ve všech hlavních kritických uzlech rámu karoserie. Výpočtový model byl shledán použitelným pro posouzení vlivu event. změn v konstrukci rámu karoserie (např. pro uvažovanou verzi s elektrickým pohonem).

3. Dynamické zatížení

Pro měření dynamických napětí byl použit měřicí řetězec: tenzometrický snímač - dynamický můstek KWS 3073 - A/D převodník Keithley DAS 16 - přenosný počítač s Bernoulli-diskem. Měřicí řetězec byl napájen agregátem Yamaha. Měření bylo provedeno se zatíženým vozem (řidič + spolujezdec + 450 kg v nákladovém prostoru) a s prázdným vozem (řidič + spolujezdec = obsluha měřicí aparatury + 40 kg měřicí aparatury v nákladovém prostoru) a to na modelové zkušební trati i na zkušebním okruhu.

Modelová zkušební trať byla vytvořena z umělých překážek ve tvaru válcové úseče o základně 500 mm a výšce 60 mm. Umělé překážky byly položeny na hladké asfaltové vozovce do takové sestavy, že v úseku 15 m došlo k jejich přejetí postupně pravými koly, oběma koly současně a levými koly. Měření se provádělo při rychlosti jízdy 40 km/hod. Ukázka časového průběhu napětí pro tenzometr č.24 je na obr.3. Vyhodnoceny byly maximální hodnoty dynamických napětí S_{max}, S_{min}, ΔS, S_m, S_a, vyvolané přejezdem vozidla přes sestavu umělých překážek.

Zkušební okruh o délce 10 km zahrnoval jízdu po asfaltové vozovce a dlažbě, jízdu přes železniční přejezd, průjezdy pravotočivými a levotočivými zatáčkami, akcelerace i brzdění. Záznamy časových průběhů napětí během jízdy na zkušebním okruhu byly pořízeny pro 12 nejvíce namáhaných míst rámu karoserie (určených na základě výsledků měření na modelové zkušební trati) a to jak pro zatížené tak i pro prázdné vozidlo. Vyhodnoceny byly opět maximální hodnoty dynamických napětí S_{max}, S_{min}, ΔS, S_m, S_a, dosažené během měření na 10 km dlouhém zkušebním okruhu. Naměřené hodnoty pro vybrané tenzometry č.9, 24 a 34 jsou uvedeny v tab.1. Náhodné procesy dynamických napětí pak byly zpracovány metodou "rain flow" do tzv. spekter provozních napětí.

Číslo tenz.	Modelová zkušební trať									
	Prázdný vůz					Zatížený vůz				
	S_{min}	S_{max}	ΔS	S_m	S_a	S_{min}	S_{max}	ΔS	S_m	S_a
9	- 29	+ 13	42	- 8	21	- 28	+ 14	42	- 7	21
24	- 36	+ 56	92	+ 10	46	- 56	+ 58	114	+ 1	57
34	- 12	+ 10	22	- 1	11	- 44	+ 92	136	+ 24	68

Číslo tenz.	Reálná zkušební trať									
	Prázdný vůz					Zatížený vůz				
	S_{min}	S_{max}	ΔS	S_m	S_a	S_{min}	S_{max}	ΔS	S_m	S_a
9	- 22	+ 18	40	- 2	20	- 16	+ 20	36	+ 2	18
24	- 28	+ 34	62	+ 3	31	- 31	+ 41	72	+ 5	36
34	- 20	+ 16	36	- 2	18	-24	+ 52	76	+ 14	38

Tab.1 - Dynamická napětí (MPa) na vybraných tenzometrech.

4. Provozní únavová životnost

Pro posouzení provozní únavové životnosti konstrukčních uzlů rámu karoserie byl použit postup navržený v [3]. Tento postup předpokládá, že je zachován charakteristický tvar spektra napětí, tj. histogram četností kmitů n_i vzhledem k relativním amplitudám napětí S_{ai}/S_{amax}, kde S_{amax} je maximální amplituda napětí ve spektru. Parametrickou volbou S_{amax} a pomocí vhodné hypotézy kumulace únavového poškození lze vypočítat závislost $D = f(S_{amax})$ a z ní odečíst pro mezní únavové poškození D_c přípustnou hodnotu maximální amplitudy napětí $S_{amax\,p}$. Tato hodnota se potom porovná s výsledky měření nebo výpočtů. Postup je dále demonstrován na příkladu posouzení kritického uzlu rámu karoserie, kterým je oblast výztuhy držáku pérování zadní nápravy (tenzometr č.34).

Parametry Wöhlerovy křivky byly odhadnuty na základě výsledků únavových zkoušek velmi podobných svařovaných uzlů: S_c = 60 MPa, N_c = $1{,}342.10^6$ kmitů, w = 4, 655. Spektrum napětí pro životnost rámu karoserie L = 300 000 ujetých km bylo odvozeno dvěma postupy:

1) Experimentální spektrum napětí bylo stanoveno lineární extrapolací spektra, získaného vyhodnocením časového průběhu napětí, naměřeného na tenzometru č.34 při jízdě na zkušebním okruhu se zatíženým vozidlem.

2) V případě, že nejsou k dispozici experimentální data (tj. zejména ve stádiu projektování, výpočtů a dimenzování konstrukcí), využívají se tzv. návrhová spektra. Abychom si ověřili možnosti jejich využití, použili jsme i tento postup. Kumulativní návrhové spektrum bylo generováno v relativních souřadnicích S_{ai}/S_{amax} podle následujícího vztahu:

$$h_i = H_{tot}\left(\frac{H\max}{H_{tot}}\right)\left(\frac{S_{ai}}{Sa\max}\right)^s$$

S_{amax} - maximální amplituda napětí ve spektru,
H_{max} - počet kmitů s amplitudou S_{amax},
H_{tot} - celkový počet kmitů ve spektru,
s - parametr tvaru spektra,
h_i - kumulativní četnost kmitů s amplitudou S_{ai}.

Parametry návrhového spektra H_{max} a H_{tot} byly zadány tak, aby odpovídaly experimentálně zjištěné skutečnosti, tedy H_{max} = 15 000 kmitů a H_{tot} = 9,59715 . 10^5 kmitů. Pro parametr tvaru byla uvažována hodnota s = 1.

Na obr.4 jsou znázorněna obě kumulativní spektra napětí (S_{ai}/S_{amax} - h_i) a k nim přislušející vypočtené závislosti D = f(S_{amax}). Únavové poškození D bylo počítáno pomocí Haibachovy hypotézy. Aby byly bezpečně pokryty nepřesnosti výpočtu, spojené s aplikací hypotézy kumulace únavového poškození, uvažovala se mezní hodnota únavového poškození D_c = 0,5. Pro tuto hodnotu lze z grafů D = f (S_{amax}) odečíst přípustné maximální amplitudy napětí:

$S_{amax,p,1}$ = 77 MPa ..... pro experimentální spektrum napětí,
$S_{amax,p,2}$ = 70 MPa ..... pro návrhové spektrum napětí.

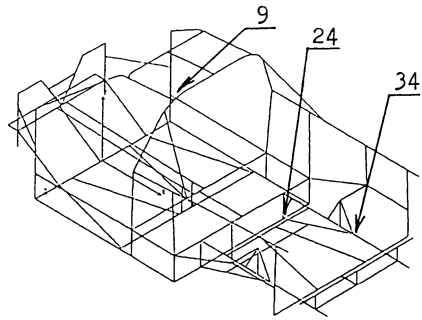
Tyto hodnoty nebyly u tenzometru č.34 překročeny při měření na zkušebním okruhu ani při jízdách přes sestavu umělých překážek.

5. Závěr

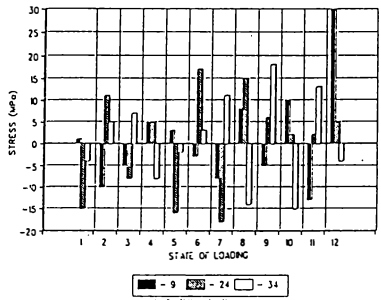
Vyšetřování provozních napětí rámu karoserie užitkového automobilu BETA umožnilo učini tyto závěry:
1) Podařilo se sestavit přilehavý výpočtový model rámu karoserie.
2) Namáhání rámu karoserie při statickém zatížení se ukázalo jako vyhovující.
3) Na základě měření dynamických napětí na modelové zkušební trati byly určeny kritické konstrukční uzly rámu karoserie z hlediska únavové životnosti.
4) Na základě měření dynamických napětí na reálných tratích byly získány podklady pro výpočtové posouzení provozní únavové životnosti kritických konstrukčních uzlů.
5) Naměřené amplitudy dynamických napětí nepřekročily přípustné hodnoty, vypočtené pro požadovanou provozní životnost.
6) Potvrdilo se, že ke stanovení přípustných hodnot maximálních amplitud dynamických napětí lze využít tzv. návrhové spektrum napětí. Výsledek byl vzhledem k experimentální skutečnosti konzervativní, z čehož vyplývá, že návrhová spektra napětí lze při dobrém odhadu jejich parametrů využít pro předběžné posouzení únavové životnosti ve stádiu projektování a dimenzování.

Literatura:

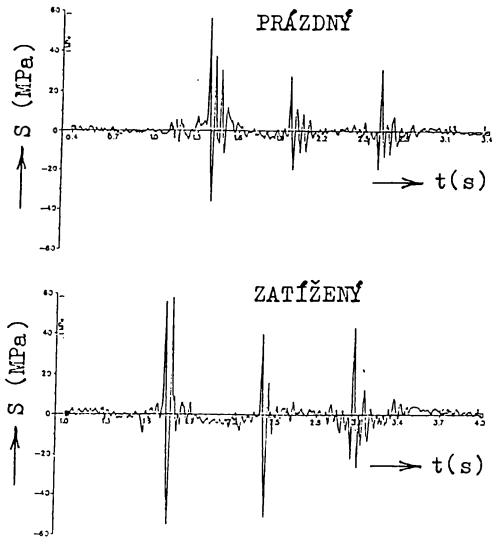
[1] Kepka,M. - Kotas,M. - Hejman,M. - Frémund,J. : Tenzometrické měření rámu automobilu BETA - verze s benzínovým motorem. Výzkumná zpráva VZVÚ 0900, ŠKODA VÝZKUM, Plzeň, 1995
[2] Hejman,M. : Statický výpočet rámu automobilu BETA - verze s benzínovým motorem.Výzkumná zpráva VZVÚ 0961, ŠKODA VÝZKUM, Plzeň, 1995
[3] Kepka,M. : Parametrické výpočty přípustných provozních napětí styčniku profilů karoserie trolejbusu ŠKODA. Inženýrská mechanika, 1993/4, str.12-20



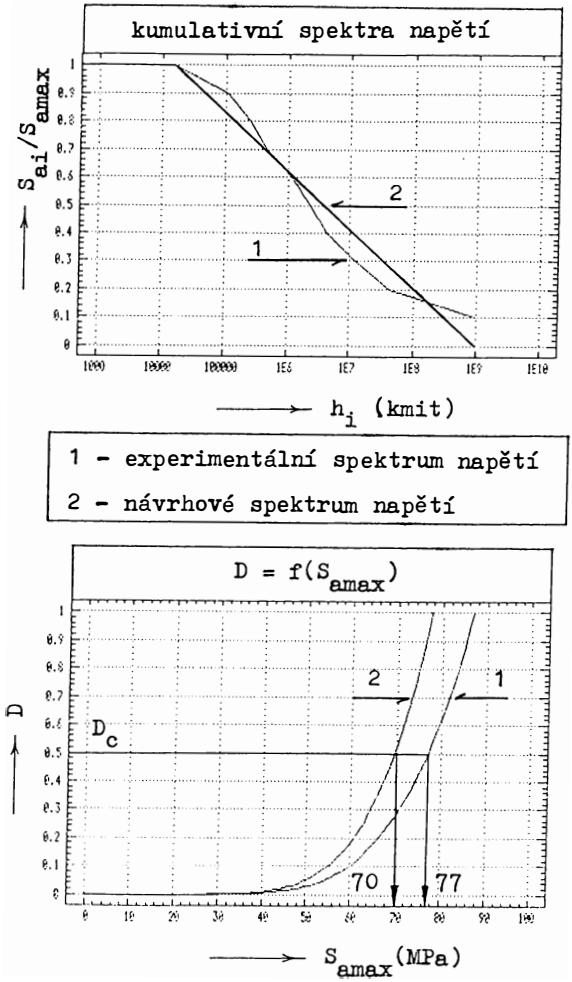
Obr.1



Obr.2



Obr.3



Obr.4

Ing. Miloslav Kepka, CSc. - Ing. Marek Hejman - Ing. Milan Kotas -
Ing. Otakar Weinberg - Jan Frémund
ŠKODA VÝZKUM, s.r.o., Plzeň, Tylova 57
Tel.: 019-7044841,019-7044384, Fax: 019-533358