



32th Conference of Experimental Stress Analysis
32. konference o experimentální analýze napětí
30. 5. - 2. 6. 1994 VŠST Liberec Czech Republic

EXPERIMENTAL STRESS ANALYSIS ON THE SCREWS OF THE DIFFERENTIAL OF THE TROLLEYBUS DRIVING AXLE

EXPERIMENTÁLNÍ ANALÝZA NAMÁHÁNÍ ŠROUBŮ DIFERENCIÁLU HNACÍ NÁPRAVY TROLEJBUSU

Kopek, M. - Rehor, P. - Frémund, J.

Experimental stress analysis of the screws which connect the crown gear with the differential case is described. Results of strain gauge measurements are mentioned and the causes of screw failures are revealed.

Ve spojení talířového kola a skříně diferenciálu hnací nápravy trolejbusů ŠKODA pracuje 12 šroubů ø 14 mm. Z konstrukčního hlediska se jednalo o třecí spoj s původně předepsaným momentem pro utahování šroubů $M_u = 110$ Nm. Talířové kolo je poháněno pastorkem a přenáší provozní kroutící moment M_k . V provozu docházelo k odlamování hlav šroubů v oblasti rádiusu přechodu dílku do hlavy šroubu. Rozbory lomových ploch naznačovaly, že příčinou destrukce šroubů byl vznik a šíření únavových trhlin v důsledku cyklického namáhání střídavým ohybem. Byl navržen program zkoušek, který měl za cíl rychle odhalit příčiny provozních poruch, navrhnut operativní opatření pro vozidla v provozu a vyhovující řešení pro další sériovou výrobu.

Na trolejbusech 9 Tr a 14 Tr bylo provedeno provozní měření kroutícího momentu M_k . Časové průběhy M_k byly snímány na kardanovém hřídeli při různých provozních režimech. Typický průběh M_k při plynulé jízdě mezi dvěma stanicemi (rozjezd - ustálená jízda - elektrická brzda) dokumentuje obr. 1. Průběh M_k je doplněn záznamem okamžité rychlosti jízdy vozidla v . Na obr. 2. je znázorněn výkmit kroutícího momentu M_k při simulaci nepříznivého poruchového stavu - prohoření tyristoru. Naměřeny byly tyto maximální hodnoty kroutícího momentu: $M_k, \text{rozjezd, 9TR} = 1\ 150$ Nm, $M_k, \text{rozjezd, 14TR} = 1\ 300$ Nm, $M_k, \text{porucha, 14TR} = 1\ 750$ Nm.

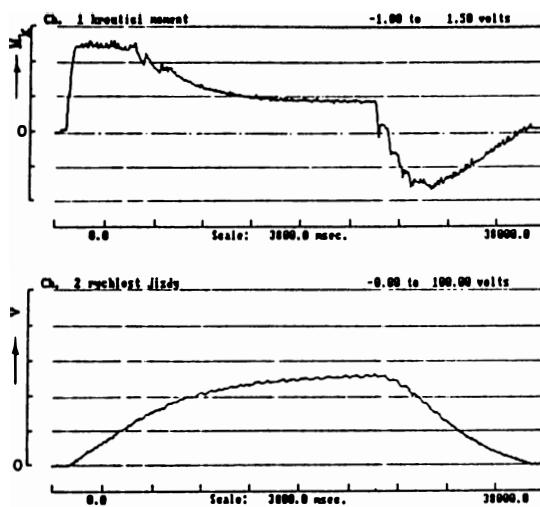
Pod hlavou několika spojovacích šroubů bylo proměřeno napětí během montáže talířového kola ke skříni diferenciálu. Napětí bylo odečítáno po dotažení všech šroubů a to v několika stupních až do požadované hodnoty utahovacího momentu M_u . Údaje ze dvou protilehlých tenzometrů umožnily určit osovou složku napětí a vypočítat předpínací sílu ve šroubech F_N . Na obr.3 jsou vykresleny závislosti $F_N - M_u$, které byly zjištěny na několika šroubech. Vzhledem k očekávané tabulkové hodnotě předpínací síly byly naměřeny závislosti, ležící jak na bezpečné, tak na nebezpečné straně. Krajní hodnoty se přitom liší téměř o 50 %.

Diferenciál s měřenými šrouby byl namontován do nápravy, jejíž hnací hřídel byla zafixována k pomocnému zkušebnímu stendu, takže otáčení všech převodových členů bylo zablokováno. Na šroubech se měřilo napětí při simulaci působení kroutícího momentu M_k na hnacím pastorku. Tenzometry na šroubech K1 a D1 registrovaly ohyb šroubů vyvolaný event. deformaci talířového kola, tenzometry na šroubech K2 a D2 registrovaly ohyb šroubů, vyvolaný event. prokluzem talířového kola - viz obr.4. Zatížení se stupňovitě zvyšovalo do okamžiku, kdy přírůstky napětí signalizovaly zvýšené ohybové namáhání šroubů. Na obr.5 je příklad typického průběhu napětí na šroubech K2 a D2, u kterých došlo k náhlému nárůstu ohybového namáhání v důsledku prokluzu talířového kola při utahovacím momentu $M_u = 140$ Nm. Tato složka namáhání šroubů zůstala jako nevratná při úplném odlehčení. Z grafu lze odečíst kritickou hodnotu kroutícího momentu $M_k, PROKLUZ, 140$, při které dojde k prokluzu talířového kola (předpokládané body zlomu na větvích hysterzních smyček $M_k - \sigma$). Měření bylo provedeno pro několik různých hodnot předepsaného momentu pro utažení šroubů M_u .

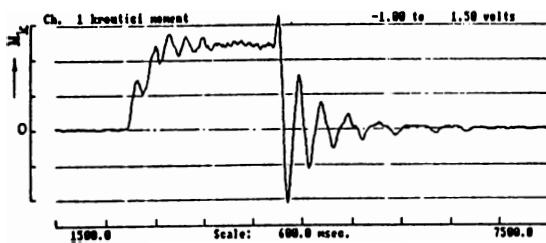
Experimentálně naměřené rozptylové pásmo závislosti kritického kroutícího momentu $M_k, PROKLUZ$ na velikosti předepsaného utahovacího momentu M_u je znázorněno na obr.6. Pro původní předpis $M_u = 110$ Nm lze z grafu odečíst dolní mez kritické hodnoty $M_k, PROKLUZ, 110$. Hodnoty kroutících momentů, zjištěné při provozním měření trolejbusu 14 Tr tuto hodnotu překračují, což prokazuje, že v provozu skutečně mohlo docházet k prokluzu talířového kola, uvolňování jeho spojení se skříní diferenciálu a působení nebezpečného cyklického ohybového namáhání šroubů.

Jako operativní opatření pro vozidla v provozu byla navržena výměna původních šroubů za šrouby z materiálu vyšší tvrdosti pevnosti a zvýšení předepsaného utahovacího momentu na hodnotu $M_u = 170$ Nm. Kritická hodnota $M_k, PROKLUZ, 170$ leží v tomto případě nad špičkovými hodnotami kroutících momentů, působících v provozu.

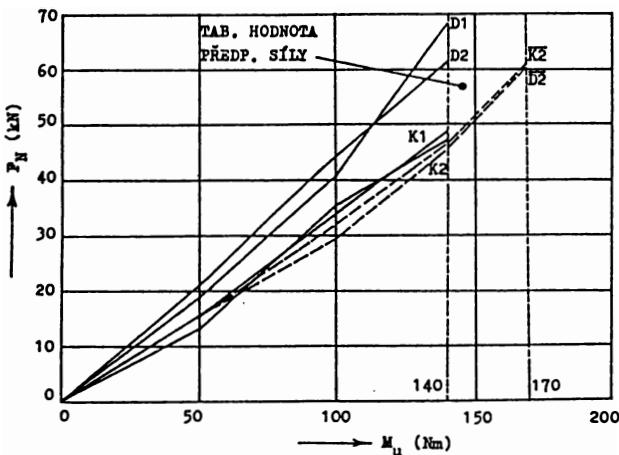
Konstrukční řešení, které i při dodržení předepsaných podmínek montáže prokazatelně vykazuje rozptyl ve výsledné spolehlivosti (měřítkem je zde rozptyl hodnot $M_k, PROKLUZ$) se jeví jako problematické. Pro další sériovou výrobu bylo proto jednoznačně doporučeno používání lícovaných šroubů pro spojení talířového kola se skříní diferenciálu i za cenu zavedení kompletnejšího a tedy i nákladnějšího náhradního dílu.



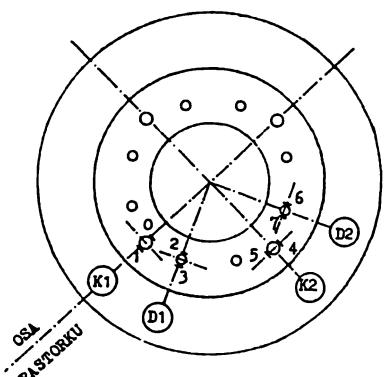
OBR. 1



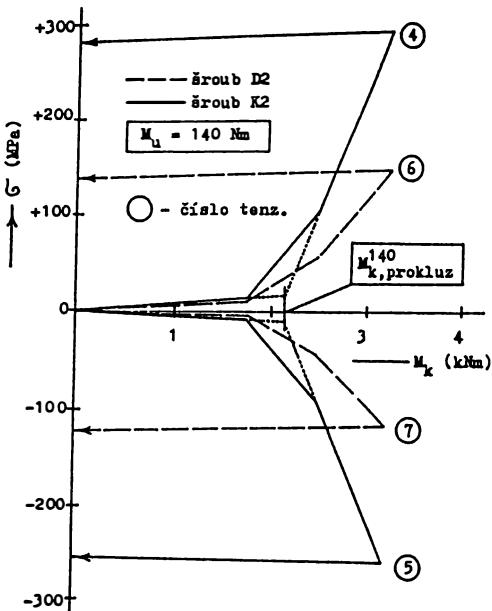
OBR. 2



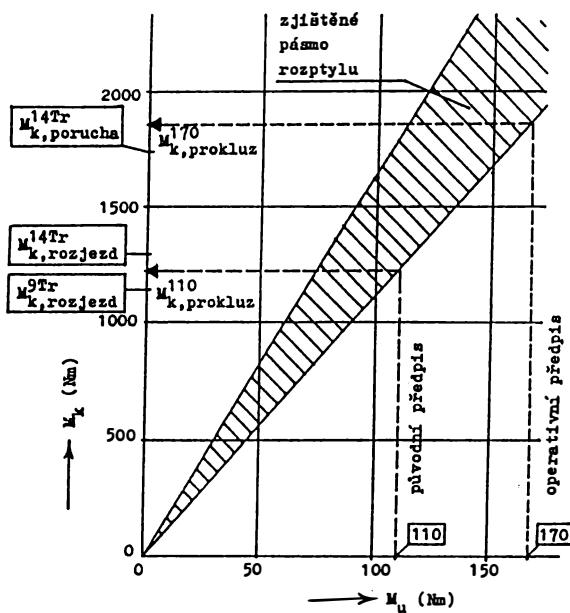
OBR. 3



OBR.4



OBR.5



OBR.6

Miloslav Kepka/Ing.CSc. - Pavel Řehoř/Ing. - Jan Frémund
ŠKODA, VÝZKUM, Plzeň, s.r.o., Tyllova 57, 316 00 Plzeň
TEL: 019 - 504 4760 / FAX: 019 - 533358