EAN '96

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

STRESS ANALYSIS OF RAILWAY WHEELS.

NAPĚŤOVÁ ANALÝZA ŽELEZNIČNÍCH KOL.

Novosad M.,Pavčo,J.:

High speeds of trains and high numbers of kilometers that trains run daily need use of more accurate methods for assuming of stress and service reliability. The railway wheels are calculated by FEM program COSMOS/M. The calculations give points of maximal stresses and enable optimalisation of wheels. For evaluation of fatigue strength of wheels fatigue tests in real scale are carried out. From results of tests and calculations service reliability is evaluated .

1. Úvod.

Provozní rychlosti osobních vlaků v posledních letech se výrazně zvýšily, a to až na 300 km/h. Z toho vyplývají vyšší nároky na provozní bezpečnost a spolehlivost. Jednou z nejnáročnějších součástí na železničním vozidle, které se to především týká, je kolo. Železniční kolo musí být pevné, tvarově stálé, spolehlivé a zaměnitelné,

mít nízkou hmotnost, nízkou hlučnost a vysokou odolnost proti opotřebení.

Vlak ICE nebo Eurostar, který jezdí z Paříže do Londýna ujede denně 2500 km. Průměr kola je 920 mm. Znamená to tedy, že pokud vlak jezdí v roce 200 až 300 dnů ujede za rok 500 000 až 750 000 kilometrů. Při délce obvodu kola 2.89 metrů to představuje 1.73*10^8 cyklů až 2.59*10^8 cyklů ročně. Podle vyhlášky UIC by měl výrobce ručit za kolo 5 let a za tuto dobu kola ujedou 8.65*10^8 až 12.95*10^8 cyklů. Vzhledem k tomu, že při průměru 2500 km za den vychází průměrná rychlost 104.167 km/h (29.07 m/s a maximální se blíží 300 km/h (83.33 m/s), průměrná úhlová rychlost je OMEGA v = 63.20 až 181.16 s^-1 je nutno znát namáhání kola a alespoň přibližnou představu o jeho životnosti.

Pro zajištění bezpečnosti a spolehlivosti kol se zpřísňují železniční normy, z nichž některé jako například normy Americké železniční asociace AAR vyžadují statické výpočty namáhání a jiné jako např. návrh evropské normy CEN256 vyžadují pro každý nový typ kola provedení únavových zkoušek ve skutečné velikosti.

2. Pevnostní výpočty kol.

Výpočty kol se provádí na počítači Indy Silicon Graphics pomocí programu konečných prvků COSMOS/M. Velikosti zatěžujících sil se stanovují podle zpráv ERRI B 136 RP11, UIC 515 - 3 O-R nebo amerických norem, které shrnují znalosti o velikosti sil působících mezi kolem a kolejnicí.

Pro tepelné namáhání od brzdění brzdovými špalíky na jízdní ploše

základní informace o okrajových podmínkách, materiálových vlastnostech a zatížení jsou uvedeny ve zprávě Evropského železničního výzkumného ústavu ERRI a dále byly čerpány z vlastních měření prováděných na brzdovém zkušebním stendu. Při tepelném namáhání kola od brzdění vznikají napětí, která často překračují mez kluzu základního materiálu. Výpočty tepelného namáhání jsou důležité jak z hlediska vyvolaných napětí a možnosti porušení, tak z hlediska vzniku trvalých deformací, kdy může dojít ke změně rozkolí a nebezpečí vykolejení vozidla. Výpočtem tepelného namáhání kola je možno simulovat postupný nárůst trvalé deformace po velkém množství opakovaných brzdových cyklů a předpokládat tak případné trvalé deformace tvaru kola. Změnami tvaru desky kola je možno tyto trvalé deformace ovlivnit, případně i vyloučit, což má velký vliv na správnost chodu vozidla a bezpečnost jízdy.

Pro hodnocení pevnostních vlastností kol se provádějí výpočty pro zatížení kola osamělými silami (svislou a boční silou) a jejich kombinacemi, výpočty tlakových spojů a tepelného namáhání od brzdění včetně změny napětí a deformací v pružně - plastické oblasti při simulaci namáhání kola opakovaným brzděním. Porovnáním výsledků výpočtů pro nové a známé provozované konstrukce kol je možno hodnotit pevnostní vlastnosti nových konstrukcí v podmínkách běžného železničního provozu.

3. Zkoušky dlouhodobé pevnosti kol.

Velkým problémem všech pevnostních výpočtů jsou vstupní data výpočtu a verifikace výsledků. Některé orientační hodnoty zatížení pro

výpočet jsou předepsány železničními normami, ale tyto údaje je nutno v řadě případů doplnit zkouškami zvoleného materiálu a v případě nových konstrukcí návrhy norem CEN256 požadují zkoušku únavové pevnosti kol ve skutečné velikosti.

Při hodnocení dlouhodobé pevnosti kol vycházíme z únavových zkoušek základního materiálu kola. Z výsledku únavových zkoušek byly sestaveny Smithovy diagramy pro materiály používané na kola. Podle návrhu normy CEN256 a postupu který používají Francouzi je sestrojen Smithův diagram pro kolo ve skutečné velikosti. Pokud předpokládáme, že Smithův diagram pro materiál i Smithův diagram pro skutečné kolo mají stejný tvar, pak při zkouškách kola ve skutečné velikosti vystačíme s jednou únavovou křivkou pro součinitel asymetrie cyklu R = 0.1 a hodnoty pro R = -1 je možno odvodit ze zkoušky základního materiálu.

4. Verifikace výpočtů a hodnocení zkoušek.

Výsledky výpočtů jsou především srovnávány mezi sebou navzájem. Tak je například postavena norma AAR pro výpočty. Výpočty ukáží místa a hodnoty maximálních napětí pro dané poměry zatěžovacích svislé síly F, boční síly H, působení tlakového spoje P a tepelných napětí od ohřátí věnce při brzdění. Únavové zkoušky jsou zaměřeny na tato místa a hodnoty napětí, tzn. že výsledek únavové zkoušky říká, jaká je životnost součásti při přesně definovaném zatížení, které odpovídá určité kombinaci zatěžujících sil ve známém kritickém místě. Známe - li únavové křivky můžeme pak pro spektrum zatěžovacích sil získané například vyhodnocením výsledků zkušebních jízd na skutečné trati,

získat pomocí Palmgren - Minerovy hypotézy odhad životnosti skutečného kola v podmínkách přibližně odpovídajícím podmínkám skutečného provozu.

Například pro nejběžnější materiál železničních kol podle vyhlášky Mezinárodní železniční unie UIC 812-3 označovaný R7 byly stanoveny při zkouškách hodnoty :

Materiál	R 7	R9	11700	11600
Mez pevnosti v MPa	717	750	686	588
Mez kluzu v MPa	407	400	363	333
Mez únavy v ohybu v MPa pro R = -1	305	264	314	274
Horní napětí v únavě pro R=0.1	583	500		

Kritické místo namáhání železničního kola se obvykle vyskytuje v přechodu z desky kola do náboje. Vysoké hodnoty v tomto místě jsou vyvolány především působením boční síly H do okolku kola, případně tepelnými napětími od brzdění. Velikosti bočních sil, které působí na kolo, by neměly překročit hodnotu Prudhonovy síly, která je dána vztahem

$$H = < 0.85 * (10 + 2*F/3).$$

Pro hodnotu svislé síly 100 kN působící na kolo průměru 920 mm představuje hodnota boční Prudhonovy síly 65.167 kN. Pro působení dvojice těchto sil dostáváme výpočtem metodou konečných prvků hodnotu radiálního napětí v kritickém místě 340 MPa.

Pro hodnotu svislé síly 85 kN působící na kolo průměru 770 mm představuje hodnota boční Prudhonovy síly 56.67. Napětí vyvolaná

působením těchto sil v kritickém místě jsou nižší než napětí od boční síly 195 kN působící do věnce při kterém došlo k únavovému porušení kola. Při působení boční síly 195 kN bylo v místě přechodu z náboje do desky kola napětí 393 MPa. Výpočtem metodou konečných prvků programem COSMOS vyšla pro stejné podmínky hodnota napětí 391 MPa.

5. Shrnutí.

Pro analýzu stavu namáhání železničních kol využíváme v současné době :

1) Pevnostní výpočty kola metodou konečných prvků pro jednotlivé síly a pro kombinace předpokládaných zatížení jak v pružné tak pružně - plastické oblasti.

2) Únavové zkoušky kol ve skutečné velikosti.

Na základě porovnání vyvolaných napětí , zatěžujících sil a Smithova diagramu pro kolo ve skutečné velikosti je možno posoudit životnost kola pro předpokládané spektrum zatěžujících sil.

Miroslav Novosad,Ing.,CSc. , Tel.: (069).608.3090

Jaromír Pavčo,Ing. Tel.: (069).608.3060

ŽDB,a.s., Závod železniční dvojkolí, Bezručova 300, 73593 Bohumín