



INŽENÝRSKÁ MECHANIKA 2005

NÁRODNÍ KONFERENCE

s mezinárodní účastí

Svratka, Česká republika, 9. - 12. května 2005

THERMAL DEFORMATION ANALYSIS OF THE TOOTHED RIM

M. Kyncl*, J. Šuta*

Summary: *This paper presents some results of the thermal deformation analysis of screwed toothed rim. The loading was determined by thermal gradients and by prestressing of connecting bolts. The main factors, which could affect the value of the thermally conditional opening in connecting area near teeth, were examined. Various models of thermal loading and prestressing were analyzed by the finite element method.*

1. Úvod

Článek se zabývá výsledky výpočtových analýz odlitku ozubeného věnce při zatížení určeném teplotními gradienty a předepnutím ve spojovacích šroubech. Smyslem analýzy bylo zjistit především deformace a posuvy v oblasti ozubení v okolí šroubového spojení obou polovin věnce. Byly zkoumány možnosti a faktory ovlivňující velikost teplotně podmíněného rozevření v patní kružnici ozubení, se zřetelem na zajištění plynulého záběru zubů.

2. Formulace problému

Geometrický model poloviny šroubovaného věnce s částí pláště (materiálem je ocel) má tyto základní části:

- Válcovitý plášť mlýna P s vnější mezikruhovou přírubou Pp.
- Ozubený věnec, rozdělený na dvě sešroubované poloviny:
 - Mezikruhový tvarovaný disk D, spojený v oblasti vnitřního obvodu s přírubou Pp.
 - Válcová část V věnce (dvě poloviny, s ozubením), vetknutá k disku D a k přírubě Ps. Zuby nejsou podrobně modelovány, vnější válcová část s ozubením má dle typu modelu vnější poloměr buď na hlavové, nebo na patní kružnici.
- Příruba disku Ps pro šroubové spojení dvou polovin věnce:

Příruba Ps je deska o konstantní tloušťce, kolmo vetknutá z obou stran k disku.

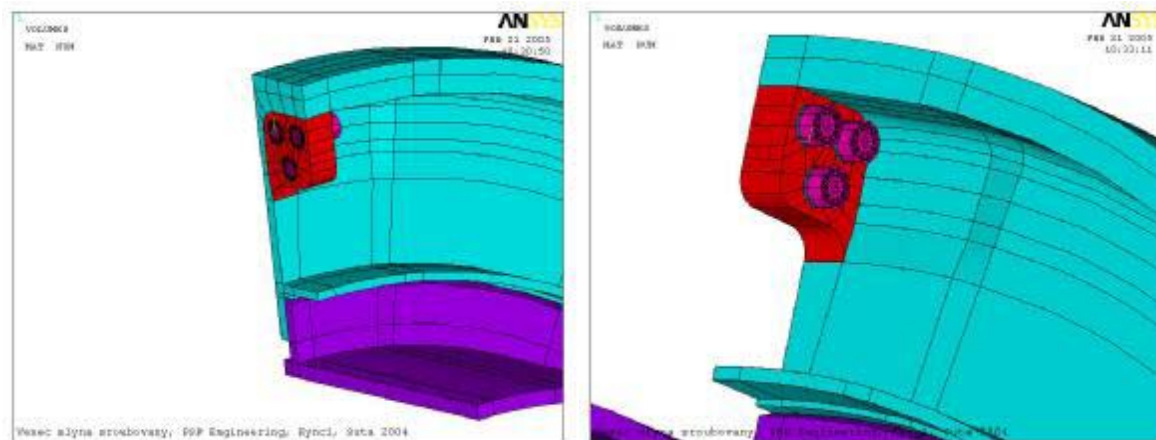
* RNDr. Martin Kyncl, CSc., Ing. Jiří Šuta, Ph.D.: PSP Engineering a.s., Kojetínská 358, 750 53 Přerov;
tel.: +420 581233194, fax: +420 581202 937, email: kyncl@pspeng.cz, suta@pspeng.cz

Příruba je kolmo spojena s válcovou částí s ozubením a obsahuje na každé straně disku tři otvory O1-O3 pro spojovací šroubky.

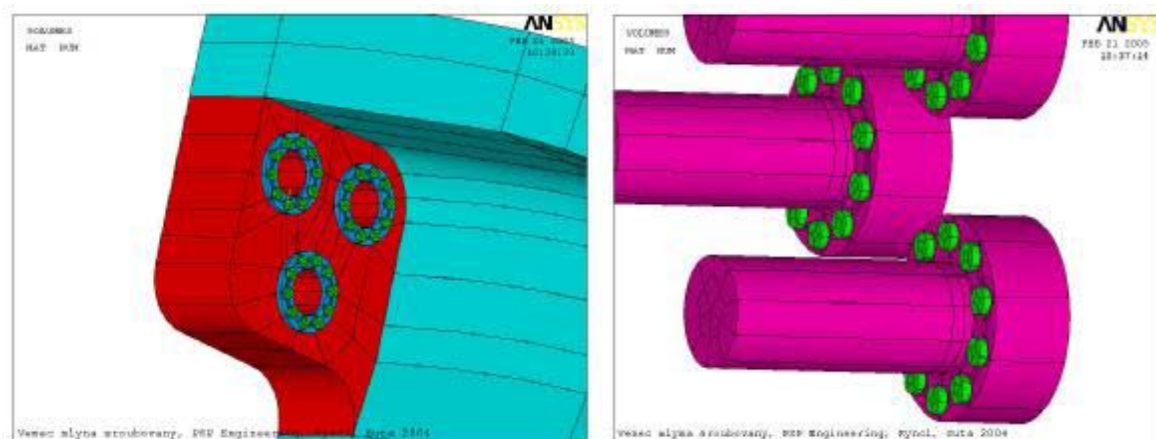
Model pro šroubové spojení:

V oblastech každého z otvorů O_i na přírubě P_s jsou modelována šroubová spojení:

- Spojovací šroub M_i , umístěný v otvoru O_i , spojuje obě poloviny věnce.
- Mezikruhová podložka K_{pi} je umístěna v okolí otvoru O_i ze strany matky spojovacího šroubu.
- Montážní šroubky S_{mj} zaujímají prostor mezi podložkou K_{pi} a maticí šroubu M_i . Nastavením délky šroubků se docílí potřebné předpětí dříku spojovacího šroubu M_i .



Obr.1 Oblast příruby pro šroubové spojení dvou polovin věnce



Obr.2 Model šroubového spojení a předpětí

V kartézském systému souřadnic x, y, z , směřuje osa z ve směru axiální délky konstrukce a je osou rotace pláště. Roviny $x = 0$, resp. $y = 0$, resp. $z = 0$ jsou rovinami symetrie geometrie modelů.

Základní uložení je určeno podmínkami symetrie v řezech symetrie modelu. Dalšími podmínkami uložení jsou kontaktní podmínky v plochách dotyku šroubově spojených oblastí věnce (rovina symetrie $x = 0$ mm).

Je analyzováno více modelů zatížení, určených jednak zadanými gradienty teplot na plášti a v ozubení, jednak způsobem modelování předepnutí ve šroubech. Teplotní zatížení od gradientů teplot je určeno na základě experimentálních poznatků stanovením rozdílných teplot na plášti (tp) a v oblasti ozubení (tz). Průběh teploty v tělese je řešen v rámci stacionární teplotní úlohy. V druhém kroku jsou při respektování zadaných okrajových podmínek řešeny posuvy, deformace, napětí a reakce.

Model předepnutí byl formulován pomocí vypočtených zvýšených teplot v montážních šroubcích - lokálně umístěný teplotní gradient t_g ve středu délky montážních šroubků S_m byl vypočten tak, aby způsobil požadované předepnutí v každém ze spojovacích šroubů (se zadanou reakcí R_x v řezu dříku $x = 0$ mm na rovině symetrie šroubu).

3. Analýzy a výsledky

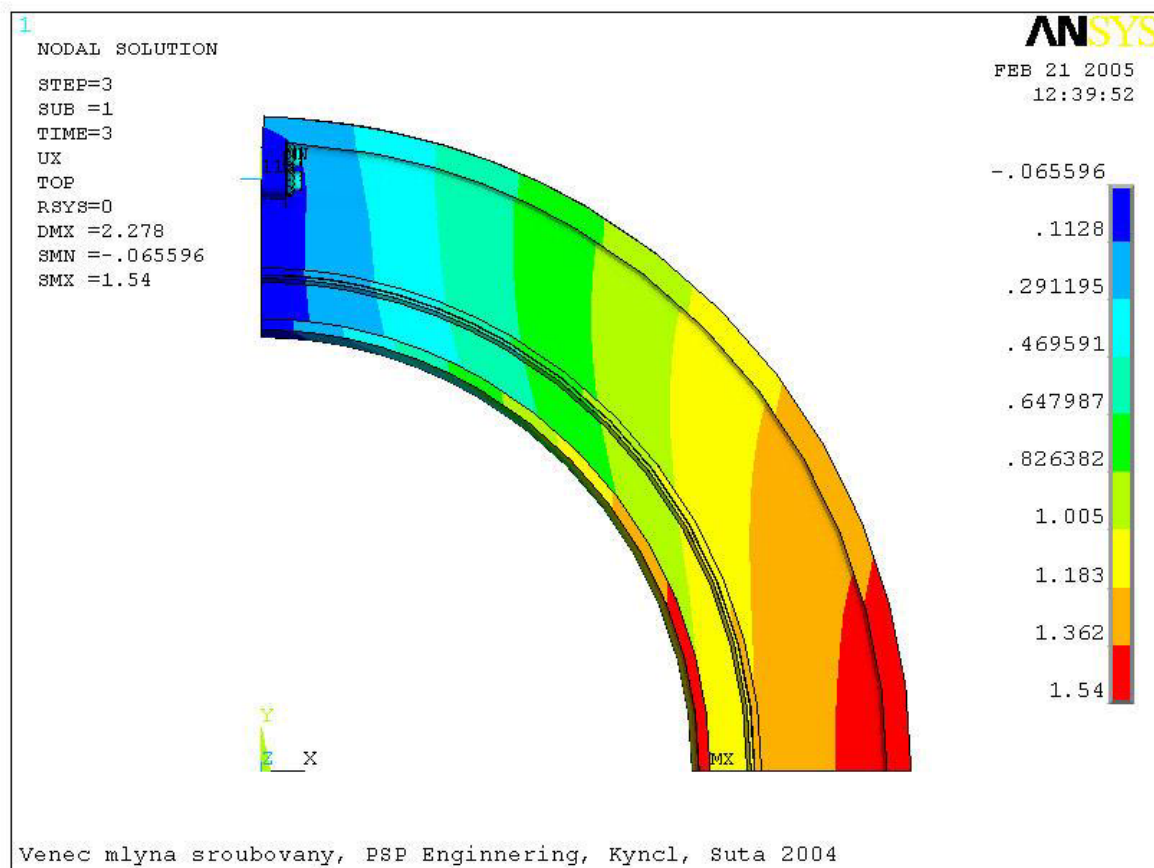
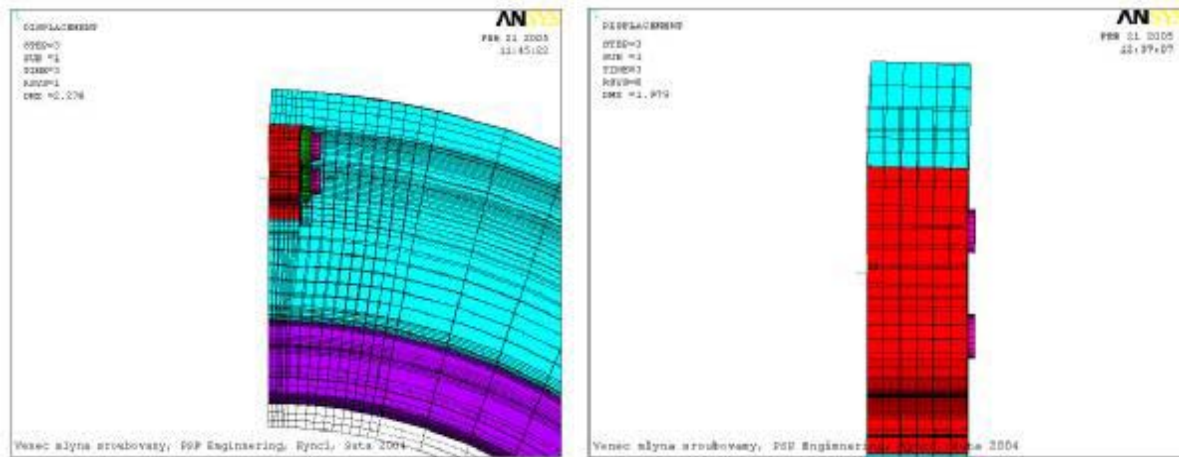
Pro řešení problému byla využita metoda konečných prvků (systém ANSYS, objemový prvek Solid45). Konstrukce věnce a části mlýna s přírubou, včetně modelu šroubového spojení, je řešena jako tlustostěnné těleso. Vzhledem k rovinám symetrie v geometrii i v zatížení bylo pak možno formulovat pouze osminové modely. Analyzovanými parametry byly především:

- výsledné posuvy (rozevření) v oblasti spojovací roviny obou polovin věnce, především v úrovni patní a hlavové kružnice ozubení,
- protažení dříku spojovacích šroubů,
- reakční síly ve střezech spojovacích šroubů.

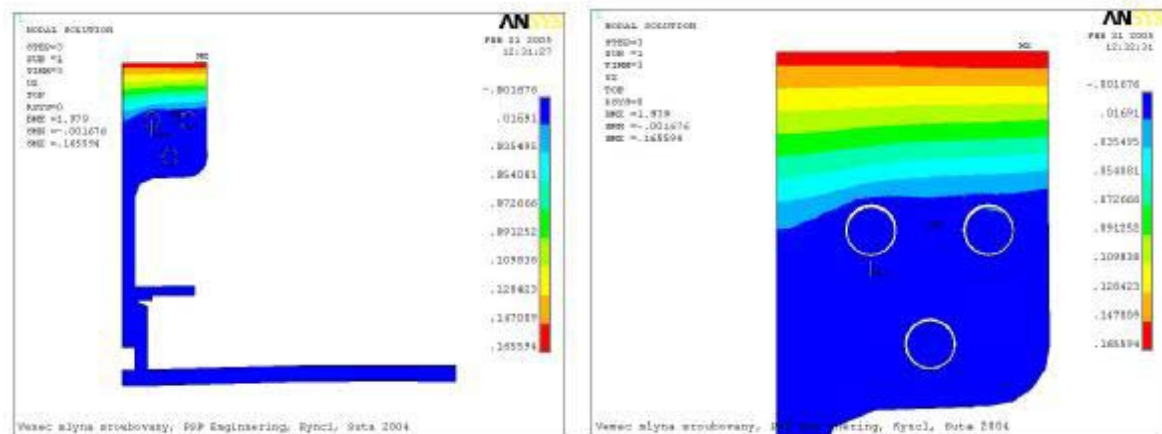
Výpočtové modely byly s postupem analýz upřesňovány, podrobně byly posuzovány i závislosti posuzovaných deformačních silových a napěťových veličin na vstupních veličinách:

- vliv různých rozdílů gradientů teplot mezi pláštěm a ozubením,
- vliv různé velikosti předepnutí,
- silová formulace předepnutí tlakem o vypočtené velikosti v oblastech dosesdu šroubků,
- modely bez předpínacích šroubů,
- vliv změny v modelu ozubené části (s vnějším poloměrem po patní, roztečnou či hlavovou kružnici),
- vliv změn v geometrii disku a přírub,
- vliv posunutí spojovacích šroubů blíže patní kružnici ozubení,

- případ celistvého (neděleného) věnce,
- případ věnce složeného ze čtyř sešroubovaných dílů.



Obr.3 Deformace věnce při teplotním zatížení



Obr.4 Rozevření v sešroubované oblasti vlivem teplotního zatížení

4. Závěr

- a) Pro přesnost a úplnost výsledků analýz je nutné respektovat skutečnou geometrii a reálné okrajové podmínky. Pomocí zdokonalených modelů se podařilo určit s dobrou přesností klíčové parametry teplotně podmíněného rozevření ozubení věnce u spojovací roviny.
- b) Klíčovým příznivým faktorem minimalizace rozevření v oblasti spojovací roviny je snížení rozdílů gradientů teplot na plášti a v ozubení, např. ohříváním vnější ozubené oblasti. Naopak zvýšený rozdíl gradientu teplot mezi pláštěm a ozubením má za následek nepříznivé zvýšení rozevření dx v ozubení.
- c) Výsledky prokázaly významný příznivý vliv zadaného předepětí ve spojovacích šroubech na snížení rozevření ve sledované oblasti spojovací roviny.
- d) Příznivý vliv na nižší úroveň rozevření má rovněž posunutí spojovacích šroubů blíže k patní kružnici. Změny v deformacích mají lokální charakter v omezené oblasti nad poloměrem umístění spojovacích šroubů.
- e) Ostatní zkoumané možnosti úprav (rozdělení věnce na více sešroubovaných dílů, úpravy tvaru příruby, disku, věnce) se ukazují jako faktory nevýznamné.
- f) Pro optimální řešení dané problematiky je důležité průběžné sledování v podmínkách provozu a přesná měření. Experimentálními měřeními lze určit kritérium - velikost maximálně přípustného rozevření v ozubení.

5. Literatura

- O.C. Zienkiewicz (1977) *The Finite Element Method in Engineering Science*, MC Graw Hill, London
- M. Kyncl, J. Šuta (2004) *Analýzy šroubovaného spojení věnce mlýna*, Interní výzkumná zpráva PSP Engineering, Přerov