



Národní konference s mezinárodní účastí
INŽENÝRSKÁ MECHANIKA 2002

13. – 16. 5. 2002, Svratka, Česká republika

**ANALÝZA ZBYTKOVÝCH NAPĚTÍ V ŽELEZNIČNÍCH
NÁPRAVÁCH**

Pavel Macura – Antonín Fiala¹ – Petr Matušek – Bohumil Řeha²

Abstrakt: V příspěvku je stručně popsána metodika měření a uvedeny některé výsledky, získané při měření zbytkových napětí v železničních nápravách. V návrhu nových evropských norem pro železniční dvojkolí je i norma CEN 13261 pro železniční nápravy, podle které je požadováno měření zbytkových napětí ve vybraných místech jak na povrchu, tak i v hloubce 2 mm pod povrchem náprav. Měření dle této normy může být provedeno buď tenzometricky, anebo pomocí rtg difrakce. Zde je uveden návrh metodiky měření s použitím tenzometrické odvrtávací metody[1].

Klíčová slova: železniční náprava, zbytkové napětí, odvrtávací metoda

1. ÚVOD

Analýze zbytkových napětí a jejich vlivu na přípustné zatěžování a životnost výrobků a zařízení je v poslední době věnována stále větší pozornost. Jedním z oborů, kde je měření a sledování zbytkových napětí požadováno, je železniční doprava, hlavně v souvislosti se zaváděním vysokorychlostní přepravy. Mezi typické výrobky v tomto oboru, u kterých se zbytková napětí měří, patří např. kolejnice, železniční kola a nápravy. Pro ně jsou již zpracovány evropské normy, které předepisují, ve kterých místech a jakou metodou se zbytková napětí musí měřit a jaké hodnoty tato napětí nesmí přesáhnout. Kromě výrobků, používaných v železniční dopravě, se analýza a měření zbytkových napětí provádí i u dalších součástí jako jsou např. odstředivě lité válce, spirálově svařované trubky pro plynovody aj. V předloženém příspěvku bude stručně pojednáno o problematice měření zbytkových napětí u železničních náprav.

2. POŽADAVKY EVROPSKÉ NORMY NA ŽELEZNIČNÍ NÁPRAVY

Poloha míst pro měření zbytkových napětí v nápravách dle evropské normy pr EN 13261 je uvedena na obr.1. Měření je nutno provádět ve třech rovinách. V rovině 1 a 2 vždy ve dvou bodech pouze na povrchu nápravy, zatímco v rovině 3 ještě navíc v šesti

¹ Prof. Ing. Pavel Macura, DrSc, Ing. Antonín Fiala – katedra pružnosti a pevnosti, FS VŠB-TU Ostrava, 17. listopadu 15, 708 33 Ostrava – Poruba, tel. 069-699-3598, fax. 069-691-6490

² Ing. Petr Matušek, CSc, Ing. Bohuslav Řeha – BONATRANS a.s Bohumín, Bezručova 300, 735 94 Bohumín, tel. 069-708-2625, fax. 069-708-2804, email: pmatusek@bonatrans.cz

místech v hloubce 2 mm pod povrchem. Normou je stanoveno, že zbytková napětí na povrchu nápravy nesmí překročit +100 MPa. V hloubce 2 mm pod povrchem nesmí být rozdíl mezi naměřenými hodnotami zbytkových napětí ve všech bodech větší než 40 MPa. Přitom však norma neudává, o jaká zbytková napětí se jedná, zda o napětí obvodová, osová, maximální hlavní, případně redukováná dle některé hypotézy, neboť ve vyšetřovaných bodech vzniká víceosý stav napjatosti.

3. NÁVRH METODIKY MĚŘENÍ

Dle normy lze měření zbytkových napětí provádět buď tenzometricky anebo pomocí rtg difrakce podle dohody mezi výrobcem a odběratelem. Rentgenometrické měření v hloubce 2 mm pod povrchem bude zřejmě velmi pracné a nákladné, rovněž však tenzometrické měření v této hloubce není zcela běžné.

Pro splnění požadavku evropské normy se navrhnul postup měření, založený na principu tenzometrické odvrtávací metody. Základem této metody je změření uvolněných deformací v okolí kruhového otvoru, vyvrtaného v místě se zbytkovými napětími, která chceme zjistit. Pro vyhodnocení těchto napětí se používají vztahy, které odvodil G. Kirsch [2]. Tyto vztahy platí pro otvor průchozí, u rozměrnějších součástí, mezi něž patří i železniční nápravy, je při měření nutno vrtat otvory slepé. V tomto případě je nutno Kirschovy vztahy korigovat. Kruhový otvor v měřeném místě je nutno odvrtat buď najednou anebo postupně po určitých hloubkových krocích. V prvním případě vyhodnocená hodnota udává určitou střední hodnotu zbytkového napětí podél hloubky vyvrtaného otvoru, nikoliv na povrchu, jak se často mylně předpokládá. Ve druhém případě lze vyhodnotit průběhy zbytkových napětí podél hloubky vrtaného otvoru, jejich velikost na povrchu je nutno extrapolovat. Postup měření a vyhodnocení zbytkových napětí touto tenzometrickou metodou s postupným odvrtáváním je uveden v práci [3] a je i základem pro měření u náprav.

V místě na povrchu nápravy, ve kterém chceme zjistit velikost zbytkových napětí, nalepíme speciální tenzometrickou růžici pro měření uvolněných deformací. Uprostřed růžice je vyznačeno místo pro vrtání kruhového otvoru, průměr a hloubka vrtaného otvoru musí být zhruba stejné. Metodika vyhodnocení měření však umožňuje vyhodnocení zbytkových napětí pouze do poloviny hloubky vrtaného otvoru, proto pro zjištění zbytkových napětí v hloubce 2 mm musí být průměr frézy a hloubka vrtaného otvoru minimálně 4 mm. Běžně se však u této metody používají průměry a hloubky méně než poloviční, abychom se přiblížili napjatosti v bodě tělesa. Metodu postupného odvrtávání je nutno použít jak pro určení zbytkových napětí v hloubce 2 mm, tak i na povrchu náprav. Podrobně je metodika měření zbytkových napětí u náprav popsána v práci [4].

4. NĚKTERÉ VÝSLEDKY MĚŘENÍ

Na obr.2 je vykreslena náprava, u které se provedlo měření zbytkových napětí v místech, požadovaných evropskou normou. Pro požadovaných dvanáct míst stačilo nalepit deset tenzometrických růžic, růžice jsou očíslovány v pořadí, v jakém se prováděla tenzometrická měření. Z obrázku je rovněž patrna orientace mřížek růžic, směr podélné osy mřížky „a“ se volil rovnoběžný s osou nápravy. Ve všech místech se měřilo metodou postupného odvrtávání.

Na obr.3 je jako příklad uveden vyhodnocený průběh zbytkových napětí v místě 3 dle obr.2 ve formě protokolu z měření, jak je předáván zadavateli. Kromě hlavičky je v protokolu uvedena tabulka naměřených a vyhodnocených veličin a graf průběhů

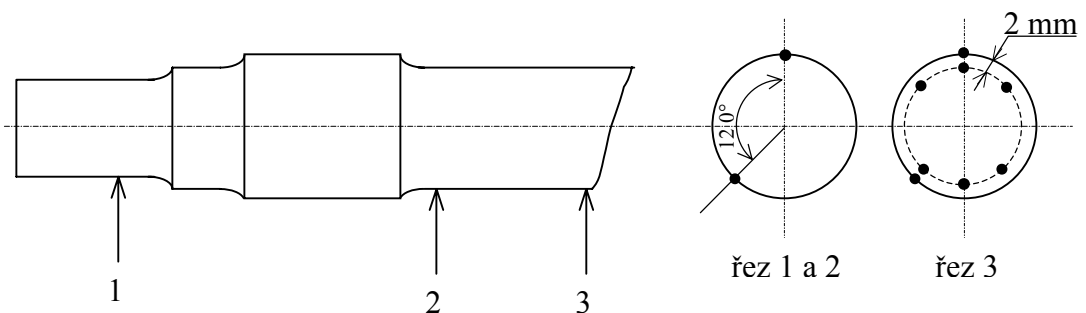
hlavních napětí podél hloubky vrtaného otvoru. V tabulce je udána postupně hloubka vyvrtaného otvoru, změřené hodnoty uvolněných deformací v místě nalepení mřížek tenzometrické růžice, hlavní napětí a jejich směry a hodnoty zbytkových napětí ve směru obvodovém, osovém a redukovaně napětí dle hypotézy HMM. Z vykresleného grafu lze odečíst velikost hlavních napětí v hloubce 2 mm a extrapolovat jejich hodnoty na povrch nápravy. Podrobně jsou výsledky uvedeny v práci [5].

5. ZÁVĚR

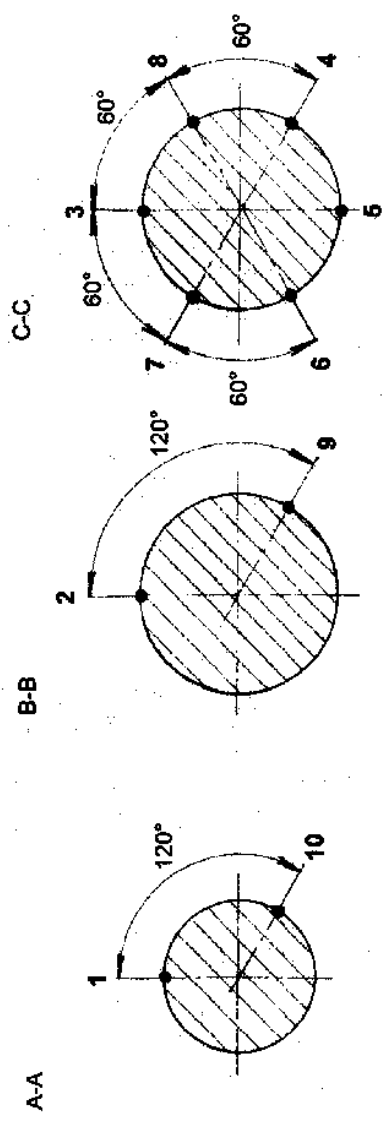
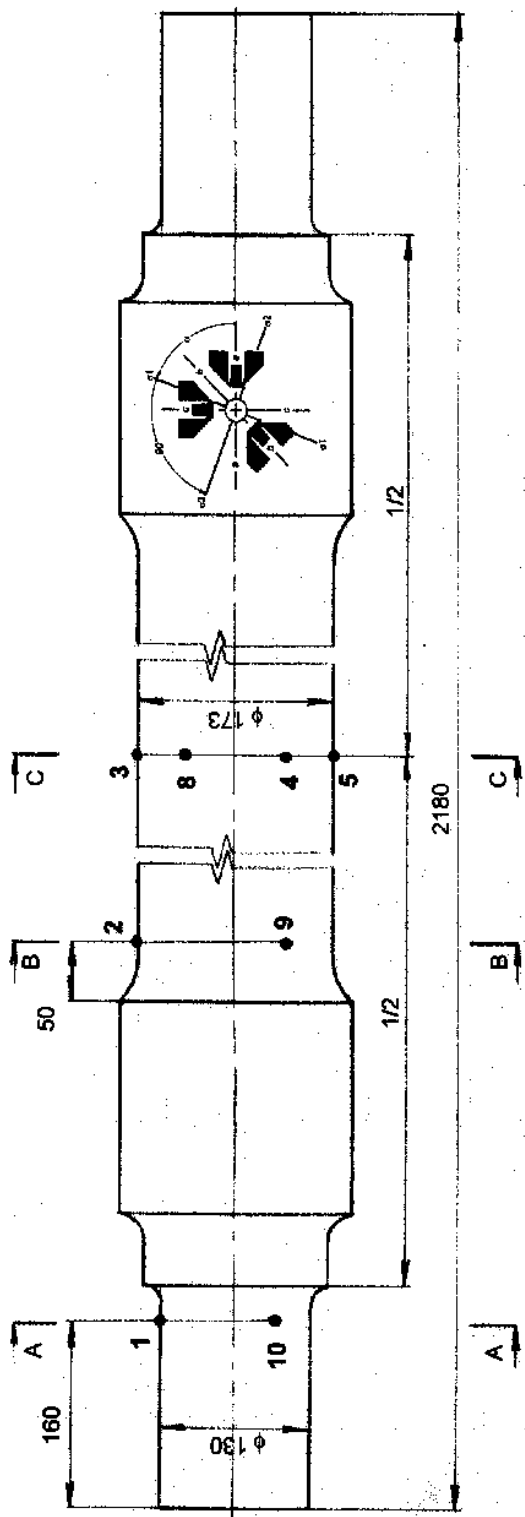
V předloženém článku je stručně uveden přístup k měření zbytkových napětí v železničních nápravách tak, aby splňovalo požadavky evropské normy. Pro vyhodnocení výsledků měření byl vypracován program pro počítač a výsledky jsou zpracovány ve formě protokolů, které jsou předávány odběrateli.

LITERATURA

- [1] Macura, P.: Experimentální metody v pružnosti a plasticitě. Ostrava, Ediční středisko VŠB-TU Ostrava, 2001, ISBN 80-7078-934-4
- [2] Kirsch, G.: Die Theorie der Elastizität und die Bedürfnisse der Festigkeitslehre. Zeitschrift des VDI 42, 1892, s. 797 – 807
- [3] Tech Note TN-503-5: Measurement of Residual Stresses by the Hole-Drilling Strain Gage Method. Firemní materiál Vishay Measurement Group, 1993
- [4] Macura, P. a kol.: Metodika měření zbytkových napětí náprav metodou postupného odvrtávání. Technická zpráva č. 02-01, Ostrava, 2001
- [5] Macura, P. a kol.: Výsledky měření zbytkových napětí náprav metodou postupného odvrtávání. Technická zpráva č. 04-01, Ostrava, 2001.



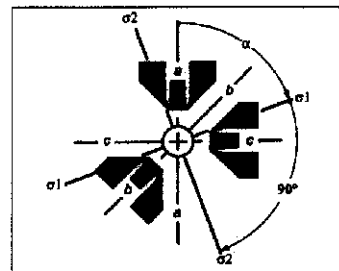
Obr.1



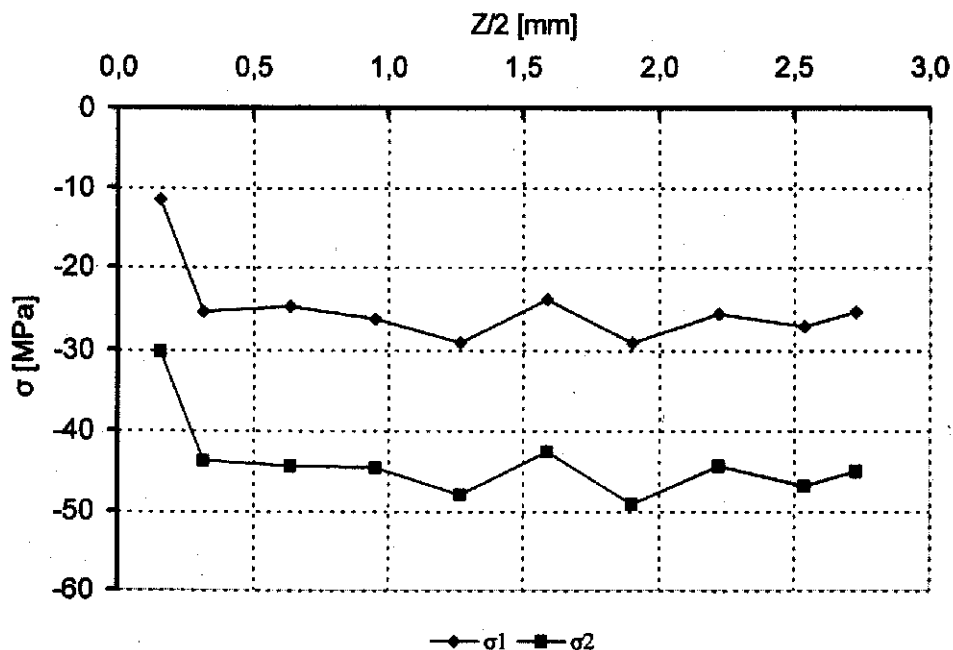
Obr.2

Vyhodnocení měření zbytkových napětí

Měřicí místo : 3
 Průměr otvoru : 5,1 mm
 Typ růžice : RY21-3/120
 Materiál : A1N
 E : 2,10E+05
 μ : 0,28



Z	Z/D	ϵ_a	ϵ_b	ϵ_c	σ_1	σ_2	α	σ_ϕ	σ_o	σ_r
mm	-	μS	μS	μS	MPa	MPa	°	MPa	MPa	MPa
0,318	0,024	3	4	2	-11,6	-30,4	35,8	-24,0	-18,0	26,6
0,635	0,049	13	9	6	-25,4	-43,8	-4,1	-43,7	-25,5	38,1
1,27	0,098	27	26	14	-24,9	-44,5	20,1	-42,1	-27,2	38,6
1,905	0,147	38	39	22	-26,3	-44,6	24,2	-41,6	-29,4	38,9
2,54	0,195	53	46	25	-29,1	-48,1	13,3	-47,1	-30,1	42,0
3,175	0,244	52	45	21	-23,9	-42,8	14,4	-41,6	-25,1	37,1
3,81	0,293	64	50	25	-29,2	-49,2	7,9	-48,8	-29,6	42,8
4,445	0,342	60	48	22	-25,8	-44,6	10,1	-44,0	-26,4	38,8
5,08	0,391	66	50	23	-27,2	-46,9	7,2	-46,6	-27,5	40,8
5,461	0,420	65	49	21	-25,5	-45,2	7,6	-44,9	-25,8	39,2



VŠB - TU OSTRAVA - FAKULTA STROJNÍ - katedra pružnosti a pevnosti