



EAN 93

31. konference o experimentální analýze napětí  
25.-27.5.1993 Měřín ČESKÁ REPUBLIKA

USING THE HOLE-DRILLING METHOD OF RESIOUAL STRESS MEASUREMENT  
TO CHECK THE QUALITY OF HEAT TREATMENT OF LARGE ROTORS

UŽITÍ NAVRTÁVACÍ METODY MĚŘENÍ ZBYTKOVÝCH PNUTÍ PRO KONTROLU  
KVALITY TEPELNÉHO ZPRACOVÁNÍ ROZMĚRNÝCH ROTORU

Dolhof V., Weinberg O.

The contribution describes the application of one of the experimental methods of residual stress determination in large rotors. The hole-drilling method was applied after heat treatment. The knowledge of heat treatment effects is important because they influence directly the value of residual stresses and mechanical properties of steel. Some results of the principal residual stress distribution after heat treatment are mentioned.

Způsob zjišťování zbytkového pnutí navrtávací metodou se již dlouhodobě uplatňuje při kontrole kvality po tepelném zpracování rozměrných rotorů. Účelem měření je zjistit hodnoty zbytkového pnutí v několika reprezentativních místech. Měřit pouze omezený počet míst umožňuje jak tvarová symetrie měřené součásti, tak předpokládaná homogenita materiálu i tepelného zpracování.

Z teorie rozložení zbytkových pnutí po průřezu plynne, že tlakové pnutí na povrchu rotoru musí být v rovnováze s tahovým pnutím směrem k ose rotoru. Dále je nutno uvažovat superpozici zbytkového pnutí s provozním namáháním.

Kombinací těchto účinků může nastat stav, který má za následek vznik a rozvoj trhlin postupujících ze středu rotoru. Z těchto důvodů byla stanovena mezní, avšak bezpečná hodnota zbytkového pnutí. Toto kriterium je převážně většině případů vztaženo k mezi kluzu  $R_p \text{ } 0,2$  a připouští na povrchu rotoru tlakové pnutí do hodnoty  $0,1 R_p \text{ } 0,2$ . Ačkoliv jsou v referátu shrnuty zkušenosti z měření řady těchto rotorů, uvedena je konkrétní ukázka z měření a vyhodnocení rotoru vyrobeného z materiálu ČSN 16 536 ( $R_m = 980 \text{ MPa}$ ,  $R_p \text{ } 0,2 = 670 \div 830 \text{ MPa}$ ), (viz obr.1).

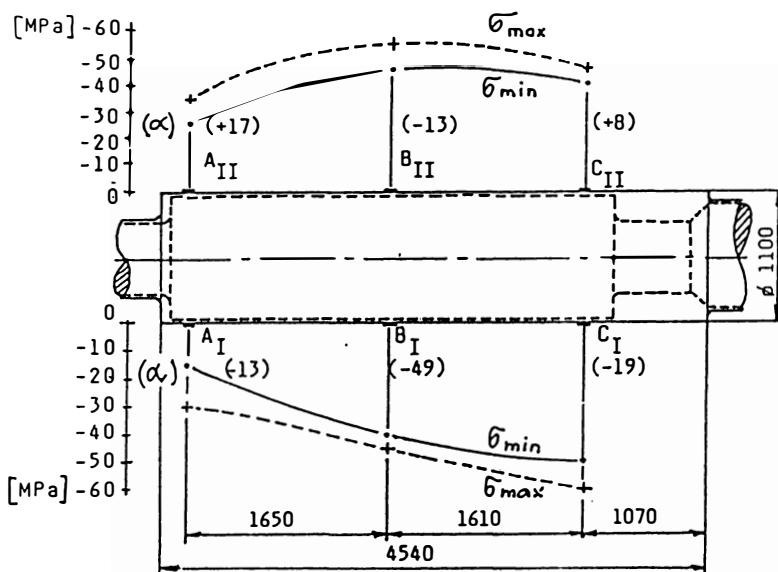
Princip navrtávací metody spočívá ve zjištění pnutí v povrchové vrstvě [1]. To se provádí vyhodnocením poměrných deformací odečtených z rozdílu čtení před a po vrtání otvoru. Deformace je zaznamenávána tenzometrickou růžicí. Ze znalostí rozměru otvoru, tenzometrů, navrtané hloubky, materiálových hodnot ( $E, \mu$ ) a teorie rozložení napětí kolem otvoru se stanoví hodnota zbytkového pnutí.

Pro vlastní měření se v našem oddělení používají výrobky firmy HBM (tenzometry 3/120 RY 21, tmel Z 70, MK-kompenzátor). Pro navrtávání je používán přípravek s možností přesného ustředění a nastavení hloubky vrtání (předvrtání  $\varnothing 2$ , vrtání čelní dvoubřitou frézičkou  $\varnothing 6$ ).

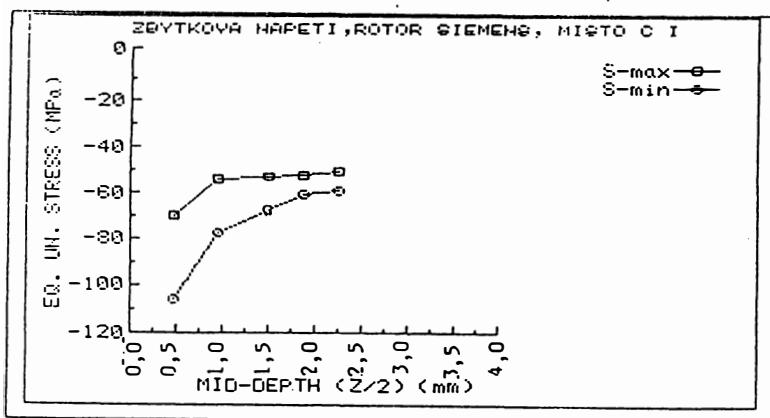
Navrtávací metoda byla experimentálně ověřena a výsledky jsou v souladu s normou ASTM E 831-85, takže splňuje požadavky zahraničních zákoníků. Přesnost metody činí  $\pm 5\%$  za předpokladu, že zbytková pnutí nepřevýší  $0,6 R_e$  materiálu měřeného rotoru.

Počet a rozmístění měřených míst je většinou požadavkem záZNíka. Pokud neexistuje, je doporučeno měření minimálně ve 3 místech na tělese rotoru. Rozmístění tenzometrických růžic je minimálně 200 mm od obou okrajů rotoru s jedinou růžicí uprostřed rotoru. V obvodovém směru jsou měřená místa vzájemně posunutá o  $120^\circ$ .

Vlastní vyhodnocení se provádí stupňovitě po hloubce (krok 1 mm). Koeficienty  $\bar{a}, \bar{b}$  jsou použity z grafů v [2]. Rozhodující pro posouzení velikosti zbytkového pnutí jsou hodnoty pro poměr hloubky ku průměru navrtávaného otvoru (1:1,2). Pro tento poměr je experimentálně prokázáno plné uvolnění zbytkových pnutí.



Obr.1. Ukázka průběhu zbytkového pnutí pro  $Z/D_0 = 1.2$ .



Obr.2. Průběh zbytkových napětí po hloubce  $Z$  v místě C I

Vzhledem k tomu, že měření zbytkového pnutí bylo zařazeno mezi kontrolní operace, musel každý měřený rotor vyhovovat zadáným podmínkám. V opačném případě byl opakován tepelně zpracováván. Bylo zjištěno, že rotory nevyhovující velikostí zbytkového pnutí měl obvykle nevyhovující pevnostní hodnoty zjištěné tahovou zkouškou ( $R_m$ ,  $R_p$ ,  $\sigma_0,2$ , aj.). Opakováním tepelného zpracování byl zpřesněn tepelný režim (nastavení teploty, rozdílování doby ohřevu a prodlev). V počtu měřených rotorů se vyskytly dva druhy materiálů. Materiál dle ČSN a dle zadaného chemického složení (dle předpisu). Většina rotorů z materiálů dle předpisu musela projít opakováním tepelným cyklem, neboť se vlastní technologický postup musel dle zkušeností zpřesňovat. V serii rotorů byly též měřeny dva rotory po tepelném zpracování a následném hrubování. U nich bylo naměřeno výrazné zpevnění povrchové vrstvy, které se odstranilo upravenou technologií obrábění načisto.

Z výše uvedeného popisu je zřejmé, jak vhodná aplikace experimentální metody může zlepšit kvalitu vyráběných rotorů, jeliž zařazena do technologického postupu jako jedna z kontrolních operací.

#### LITERATURA:

- [1] Havlík: Vyhodnocení zbytkových pnutí naměřených navrtávací metodou VZ-VZVÚ ŠKODA 78
- [2] Firemní lit.: MG, TECH NOTE TN 503-3
- [3] Weinberg,Dolhof:Protokoly o měření pnutí v rotorech 91,92.

Václav Dolhof/Ing.CSc.; Otakar Weinberg/Ing.  
ŠKODA, VÝZKUM, Plzeň, s.r.o./Tylova 57, 316 00 Plzeň  
Plzeň 514, linka 861, 723/FAX 220762