

E xperimentální A nalýza N apětí

2004

HOLE DRILLING METHOD EVALUATION PROBLEM

PROBLEMATIKA VYHODNOCOVÁNÍ ODVRTÁVACÍ METODY

Karel Doubrava¹, Tomáš Mareš, Miroslav Španiel, Karel Vítek

Abstract: Residual stresses are included in almost all constructions. Determination of residual stresses is performed by experimental methods mainly. Hole drilling method is one of the most frequently used method for experimental determination of residual stresses. The method is based on drilling a small hole at the construction surface and measuring of the relaxed strain while the residual stresses are computed on the base of these relaxed strains. Widely used method for computing residual stresses is the ASTM Standard E837, but we have detected certain inaccuracy while using this method. This article describes application of enhanced method for residual stresses determination. Program Tridente was made for computing of the residual stresses. Residual stresses are computed from relaxed strains measured on the pipe bend.

Keywords: Residual stresses, Hole drilling method, Tridente

Úvod

Zbytková napětí vznikají téměř při všech technologických postupech. I přes značný vývoj v oblasti numerických metod a výpočetní mohutnosti dostupného hardware je predikce zbytkových napětí stále omezena na jednoduché případy. Určování zbytkových napětí je proto stále úkolem experimentálních metod. Jedna z nejrozšířenějších je metoda odvrtávací. Tato metoda je založena na principu uvolnění zbytkových deformací. Na povrch součásti se nainstaluje speciální tenzometrická růžice, do jejíhož středu se vyvrtá malý otvor. Otvor se vrtá v postupných krocích a na konci každého kroku se provede odečet uvolněných deformací. Tyto deformace jsou dále vyhodnocovány a na základě různých metod se určí hodnoty zbytkových napětí. V praxi je často používaná metoda definovaná normou ASTM E837.

Norma ASTM

Norma ASTM E837 vychází z principu Kirschova řešení desky s průchozím otvorem. Při tomto řešení se předpokládá vztah mezi uvolněnou deformací a stavem napjatosti v daném místě a vliv neprůchozího otvoru a materiálových vlastností je zahrnut ve vztahu (1)

¹ Ing. Karel Doubrava, Ing. Tomáš Mareš, Ing. Miroslav Španiel, CSc, Karel Vítek, CSc.: Ústav mechaniky; Fakulta strojní, ČVUT v Praze, Technická 4, 166 07 Praha 6, Česká republika, tel.: +42024352750, e-mail: Karel.Doubrava@fs.cvut.cz

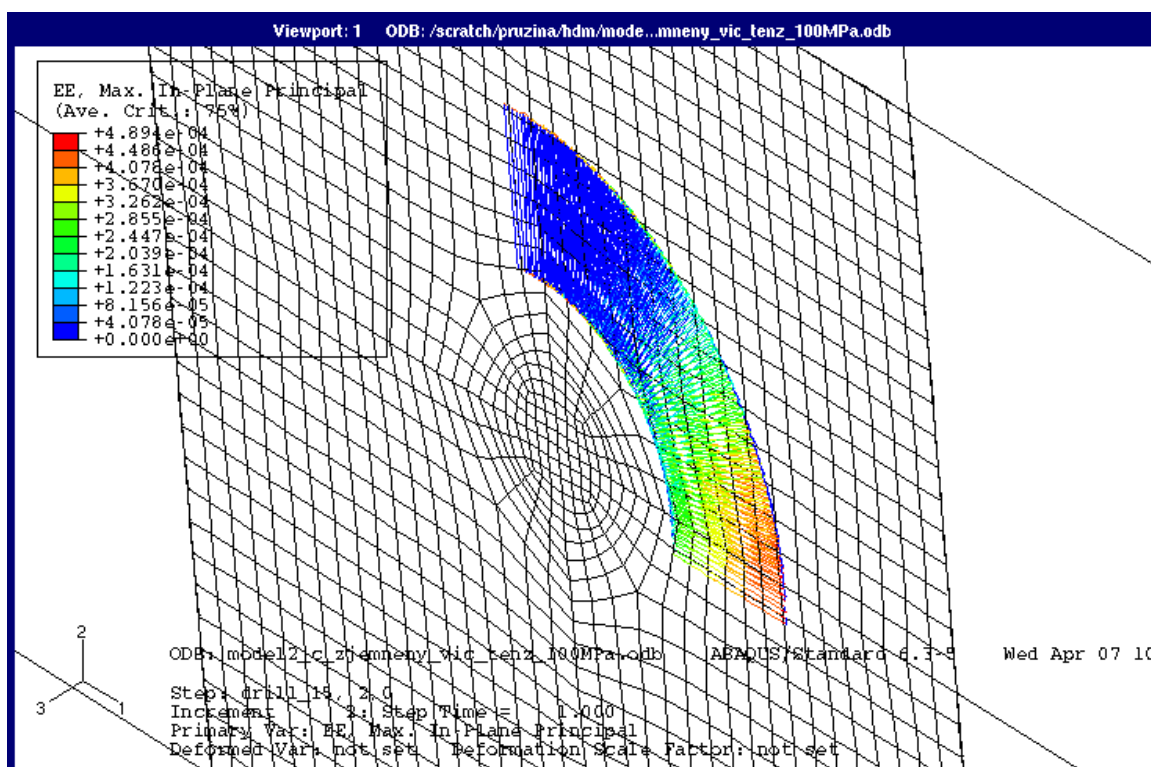
$$\varepsilon(\alpha) = A(\sigma_x + \sigma_y) + B(\sigma_x - \sigma_y)\cos(2\alpha) \quad (1)$$

kde A, B jsou kalibrační konstanty. Tyto kalibrační konstanty jsou uvedeny ve výše zmíněné normě a byly spočteny Schajerem [2] v 80 letech minulého století.

Při výzkumu provedeném na našem pracovišti bylo shledáno [1], že tato metoda zavádí určitou míru nepřesnosti. popis stavu napjatosti v závislosti na uvolněných deformacích. Proto bylo přistoupeno k hledání funkcí, které by se více přiblížily skutečnému stavu.

Program Tridente

Pro popis stavu napjatosti byl proveden numerický experiment (metoda konečných prvků), kdy byla simulována tahová zkouška, při níž je zkušební tyč zatížena jednoosým tahem. U takto zatíženého vzorku byla provedena simulace odvtávání. Na povrchu vzorku byly namodelovány tenzometry, které svými rozměry odpovídaly skutečným tenzometrům, z nichž je složena komerčně dodávaná tenzometrická růžice RY 61 firmy HBM. Modelování tělesa bylo provedeno v programu ABAQUS CAE a vlastní výpočet pak jádrem tohoto programu ABAQUS Standard. Pro model tělesa tyče byly použity osmi uzlové prostorové elementy a pro modely tenzometrů pak jednorozměrné dvouprvkové elementy.



Obr. 1. Znáornění konečně prvkové sítě při numerickém experimentu

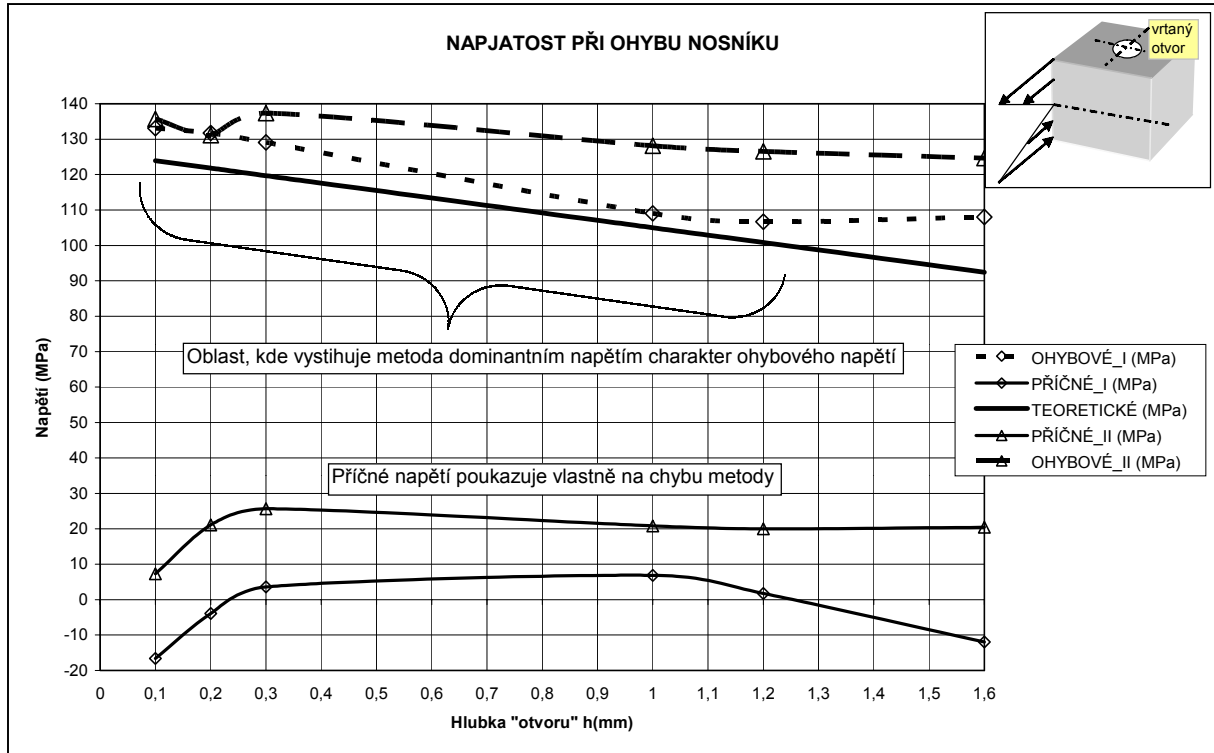
Získané výsledky pak tvořily základ pro nalezení nového předpisu pro vztah mezi uvolněnými deformacemi a danou napjatostí. Byla zvolena regresní funkce ve tvaru trigonometrické Fourierovy řady ve tvaru

$$\varepsilon_f(\alpha) = \sum_n K_n \cos(n\alpha) \quad (2)$$

a kde potom vztah mezi hlavními napětími a signálem z tenzometru je popsán rovnicí (3)

$$\varepsilon(\alpha) = \sigma_x \varepsilon_f(\alpha) + \sigma_y \varepsilon_f(\alpha + 90). \quad (3)$$

Při aplikaci tohoto vztahu na signál tenzometrů odvrtávací růžice získáme tři rovnice pro tři neznámé. Řešením této soustavy získáme velikosti hlavních napětí a jejich směr v orientaci dané tenzometrickou růžicí.

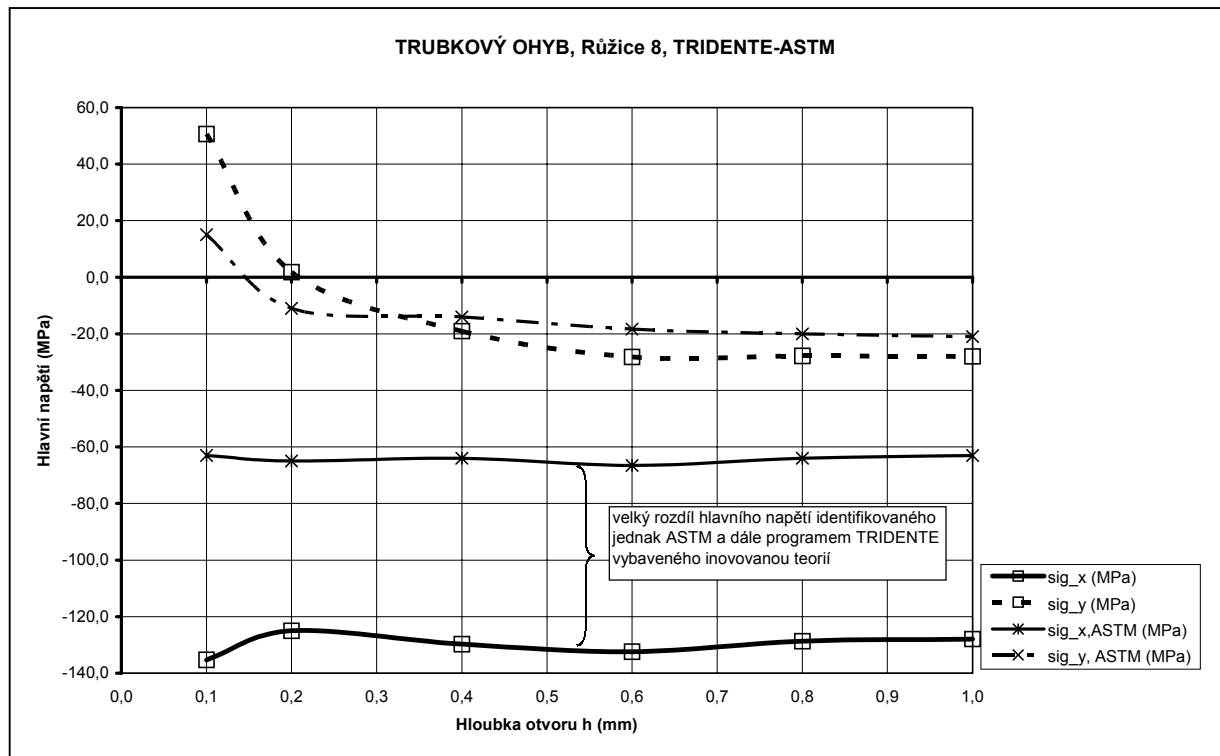


Správná funkce metody je z principu cejchování zaručena pro konstantní průběh napjatosti v závislosti na hloubce vrtaného otvoru. Jestliže se napjatost s hloubkou mění, je identifikován její gradient změnami hlavních napětí s hloubkou vrtu. Například teoretické ohybové napětí nosníku z obr.5 není shodné s dominantním hlavním napětím, ale charakter průběhu, respektive gradient v povrchové vrstvě obou průběhů napětí je podobný, i při použití dvou různých Furierových řad I, II v teorii metody.

Vyhodnocení konkrétních dat

Programem Tridente bylo provedeno vyhodnocení dat získaných v rámci měření zbytkových napětí u trubkových ohybů. Trubkový ohyb je součástí, která se vyrábí ohybem za tepla pomocí indukčního ohřevu. V důsledku této technologie dojde ke vzniku zbytkových napětí jejich hodnoty jsou směrodatné pro rozhodování zařazení technologické operace normalizačního žíhání. Tyto operace jsou však jak finančně tak časově velmi náročné, což směřuje ke snaze tuto technologii vynechat. Dle současných předpisů toto není možné, ale uvažuje se o zavedení evropských norem, podle nichž je tuto operaci možno vynechat v případě nízké úrovně hladiny zbytkových napětí. Tato norma ale neuvádí, co konkrétně tato nízká úroveň představuje. V rámci řešení grantu GAČR106/02/00612 bylo provedeno měření na trubkovém ohybu a takto získaná data byla vyhodnocena dle normy ASTM [3]. Pro srovnání bylo provedeno vyhodnocení dat z měření v jednom místě programem Tridente. Při srovnání takto získaných hodnot je zřejmé zachování stejného charakteru průběhu zbytkových

napětí s hloubkou. Napjatost při povrchu zde vykazuje gradient a. podstatné rozdíly hodnot většího z hlavních napětí.



Závěr

Odvrtávací metoda patří mezi nejčastěji používané postupy při zjišťování úrovně zbytkových napětí. Po zjištění určitých nepřesností současně používaných postupech jsme započali s vývojem programu Tridente, který by umožňuje přesnější vyhodnocování zbytkových napětí.

Literatura

- [1] Vítek, K. - Doubrava, K. – Kolman, R. - Holý, S. - Mareš, T. - Španiel, M.: *Theoretical Analysis Of The Hole - Drilling Metod Used For The Residual Stress Identification*, Research Report, CTU in Prague 2003, ISBN 80-01-02834-8
- [2] Doubrava, K.- Holý, S.- Kuliš, Z.- Vítek, K.: *Detection of Residua Stresse sof the Pir Bend*, 41th International conference Experimental Stress Analysis, EAN-2003, Brno 2002, Brno 2003, s.15 - 16.
- [3] Doubrava, K.- Holý, S.- Kuliš, Z.- Vítek, K: *Měření zbytkových napětí na trubkovém ohybu pomocí odvrtávací metody*, Výzkumná zpráva, ČVUT v Praze, Praha 2003

Tato práce vznikla za podpory grantu GA ČR 106/02/0612