

Experimentální **A**nalýza **N**apětí **2003**

SIGNAL DIFFERENTIATION METHOD FOR RESIDUAL STRESS IDENTIFICATION

METODA DERIVACE SIGNÁLU PRO IDENTIFIKACI ZBYTKOVÝCH NAPĚTÍ

Karel Vítek¹, Karel Doubrava, Stanislav Holý, Radek Kolman
Tomáš Mareš, Miroslav Španiel

During the validation and development of conventional procedures for the residual stress identification new identification method and its theoretical background has been derived. This method offers new approach to the interpretation of the measurements obtained by the hole drilling method.

According to the mathematical background, the method has been denoted as "the signal differentiation method". The new method is based on confrontation of the measured signal from the strain gauges to the function derived from the numerical simulation of the hole drilling process. Such function is unique for given material and diameter of the hole and therefore could be tabulated. After the preliminary numerical analysis it seems that the methods provides satisfactory results and therefore it is the aim of this project to introduce the method into practice, improve and verify i. in several aspects: 1)evaluate influence of the the diameter and imperfections of the hole, 2)evaluate influence of the surface shape in the hole surrounding, 3)evaluate influences of the size of measured sample and influence of the material constants.

Optimisation of the "Signal Differentiation Method" could replace some classical unreliable approaches used in the hole drilling method. After specification of the set of optimal functions, the procedure will become applicable for the residual stress evaluation using the hole drilling method without any complicated technical or software equipments.

Keywords

Drilling whole metod, residual stress, FEM simulation of experiment

Úvod

Odvrtávací metodu aplikovanou italskou soupravou Restant od firmy Sint-technologi jsme testovali a dokumentovali - viz [1, 2]. Ani velikostmi a dokonce ani charakterem se nepodařilo žádným z programů soupravy, které reprezentují škálu vyhodnocovacích metod odvrtávacího principu, napjatost nosníků identifikovat a to platilo i pro nezatížený stav vyžiháných nosníků – prostých zbytkových napětí. Při ověřování a rozvoji stávajících metodik identifikace zbytkových napětí jsme našem pracovišti při sledování několika

¹ Ing. Karel Vítek, CSc., Ing. Karel Doubrava, Prof. Ing. Stanislav Holý, CSc., Ing. Radek Kolman, Ing. Tomáš Mareš, Ing. Miroslav Španiel : Division of Strength of Materials ,Department of Mechanics, Faculty of Mechanical Engineering, Technical University in Prague, Technická 4, 166 07 Prague 6, Czech Republic, tel.: +420-224352520, email: vitek@fsid.cvut.cz

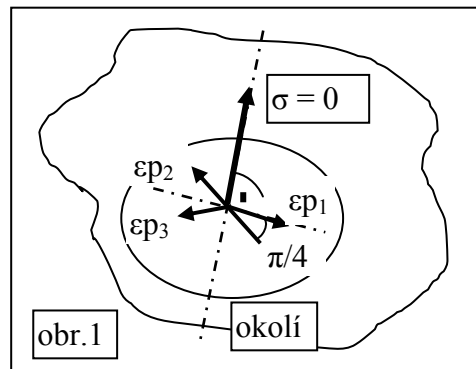
přístupů vytvořili vlastní hypotézu a použili nový princip vyhodnocování signálů tenzometrických růžic při odvrtávací metodě, který nazýváme „Metoda derivace signálu“.

Klasické přístupy vycházejí z úprav teorie průchozí díry uvedené Prof. G. Kirschem a využívají numerické přístupy ke korekcím funkce této teorie na vlastnosti slepé díry. Námi uvedený princip se nesnaží formulovat závislost poměrných prodloužení na povrchu vzhledem k napjatosti uvnitř explicitně teorií pružnosti, ale využívá vztahu mezi numerickým a fyzikálním experimentem. Numerický experiment lze považovat za velmi věrohodný, simulace je realizovaná metodou konečných prvků. Při této metodě je signál tenzometrů konfrontován s funkcí vytvořenou na základě úplné numerické simulace experimentu odvrtávání (modelováno je odvrtávané těleso včetně aplikované tenzometrické růžice).

Princip metody derivace signálu

Uvažujeme Hookeovský materiál, který má do malé hloubky pod povrchem (viz obr.1) jedno hlavní napětí σ kolmé k povrchu nulové. Tento předpoklad je přímo na volném povrchu splněn. V okolí zkoumaného bodu předpokládáme rovinný povrch součásti, na kterém sledujeme poměrná prodloužení ve třech směrech (ϵ_1 , ϵ_2 , ϵ_3) pomocí tenzometrické růžice..

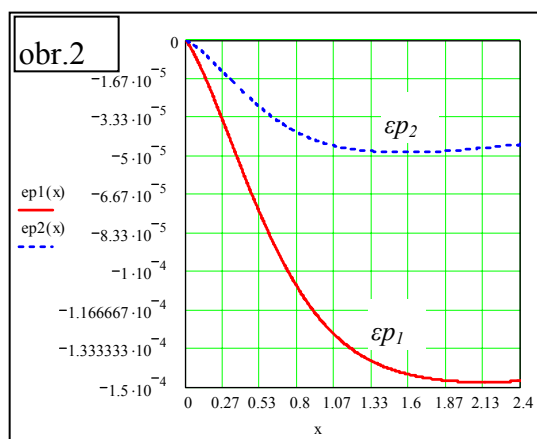
Při numerickém modelování procesu odvrtávání byl použit jako model těleso nosníkunosníků, které jsou propojené s úplným modelem tenzometrické růžice. Na tomto kombinovaném numerickém modelu simulujeme odvrtávání v krocích při silovém zatížení, kterým definujeme napjatost modelu.



Hypotéza: „Předpokládáme, že napjatost změněná vtááním otvoru je jednoznačnou funkcí napjatosti tělesa otvorem neporušeného. Poměrné prodloužení ϵ_i v hloubce díry x je do signálu tenzometru ϵ_i (který je se směrem uvažovaného poměrného prodloužení z hloubky x rovnoběžný) na povrch transformováno pro všechny radiálně umístěné tenzometry odvrtávací růžice (respektive pro všechny radiální směry podobně) - jediným typem funkce.“

Při platnosti superpozice uvažujeme oblasti malých posuvů. Modelování experimentů realizujeme MKP. Zaměřujeme se na funkci tenzometrů růžice a hledáme mezi tenzometry naměřenými signály (mezi změnami poměrných prodloužení) vztah vzhledem k napjatosti, pod povrchem, abychom ji mohli identifikovat.

Chování signálů dvou tenzometrů růžice ϵ_{p1} , ϵ_{p2} (poloha 3. tenzometru byla symetrická ke 2. oba měly shodné signály) na ohýbaném nosníku (s maximálním ohybovým normálovým napětím $\sigma_0=126\text{MPa}$ ve směru tenzometru ϵ_{p1} - viz obr.1) je uvedeno na obr.2 pro nosník o průřezu 12x60 mm. Tato data, simulující zde měření, jsme proložili kvalitními regresními polynomy 6. stupně.



Funkce signálů tenzometrů závisí na hloubce díry x a tenzoru napětí (2 hlavní napětí a jejich úhel polohy) v této hloubce, což celkem představuje 4 nezávisle proměnné, mimo materiálových proměnných. Pro formulaci matematického modelu identifikace původní

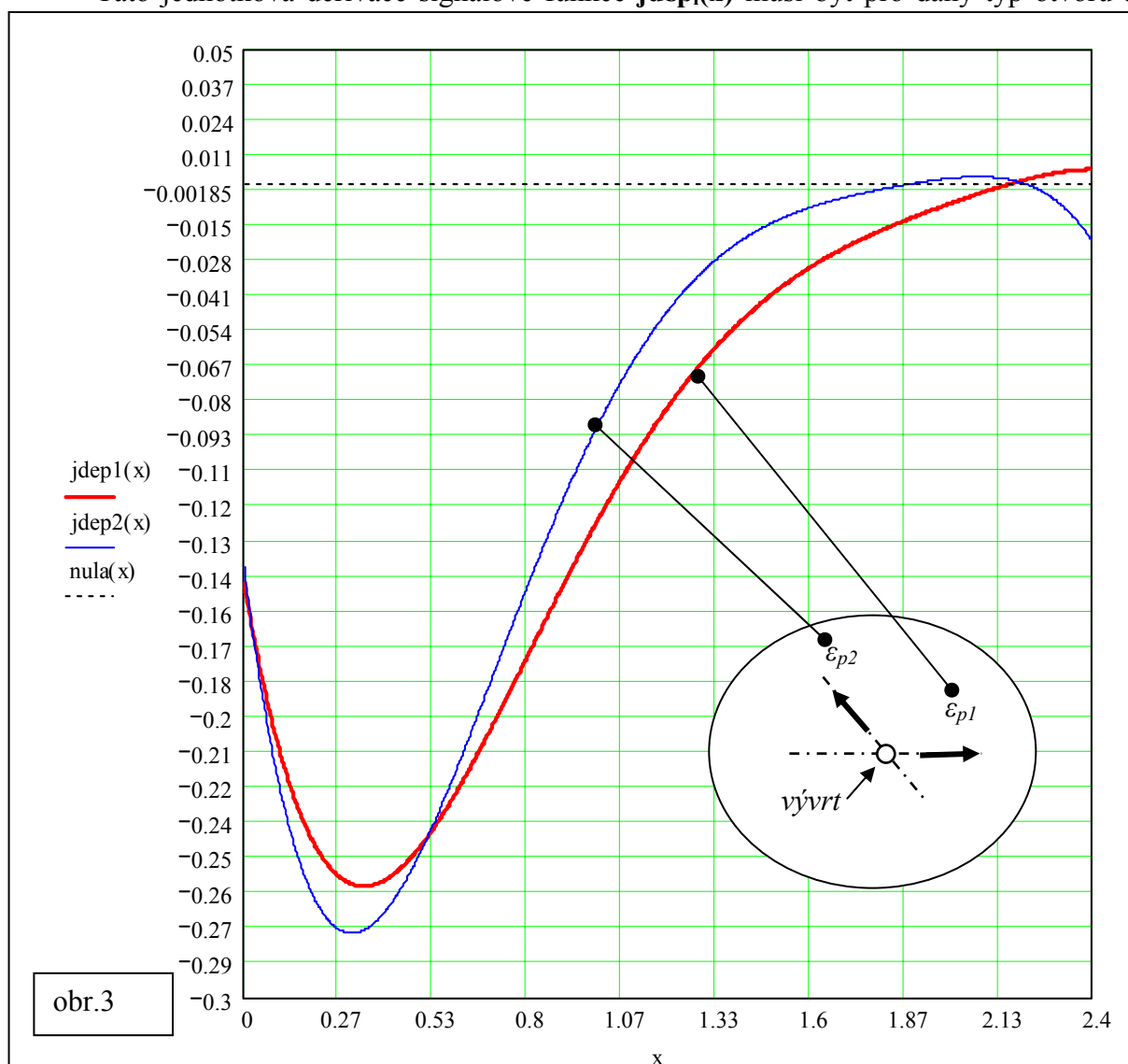
napjatosti jsme diferenciální formou nejprve odfiltrovali historii signálu tenzometrů na hloubce x derivací signálové funkce $\varepsilon_i(x)$ podle polohy x :

$$d\varepsilon_i(x) = \frac{d(\varepsilon_i(x))}{dx}. \quad (1)$$

U Hookeovského materiálu je, dle výše uvedené hypotézy funkce této derivace $d\varepsilon_i(x)$ lineárně závislá pouze na příslušném poměrném prodloužení $\varepsilon_i(x)$. Proto pro vyloučení i tohoto vlivu zavádíme podílem jednotkovou derivaci, která už je pouze funkcí hloubky díry x (pro daný materiál modelu):

$$jd\varepsilon_i(x) = \frac{d\varepsilon_i(x)}{\varepsilon_i(x)} \quad (2)$$

Tato jednotková derivace signálové funkce $jd\varepsilon_i(x)$ musí být pro daný typ otvoru a



materiálu definována funkcí nezávislou na konkrétním tenzometru různé: $jd\varepsilon(x)$, aby byla metodika ve výzkumu použitelná. Tři poměrná prodloužení rovnoběžná s povrchem - zjištěná touto metodikou - pak dávají dostatečnou informaci pro určení původní napjatosti v obecně vrtané hloubce x (na ose díry). Tvary jednotkových derivací získané na základě numerické analýzy do značné míry potvrzují přijatou hypotézu, mají velmi malé odchylky do rozhodující

hloubky díry okolo 1mm (viz obr.3) a proto se řešení zbytkové napjatosti tímto principem může už nyní realizovat (třetí tenzometr růžice měl zde signály totožné s druhým).

Konkrétní zpracování dat z naměřené růžice začíná nahrazením naměřených dat regresní funkcí na signální funkci $\varepsilon p_i(x)$ každého i -tého tenzometru a pak derivováním této funkce podle hloubky vrtané díry x na funkci $d\varepsilon p_i(x)$ z rovnice (1). Protože funkce jednotkové derivace $j d\varepsilon p(x)$ je pro všechny otvory daného průměru hloubky a materiálu shodná, daná optimalizací experimentů – viz podobné průběhy v obr.3 , je jí možno po numerických analýzách v uzavřeném tvaru tabelovat a využívat k řešení. Z rovnice (3) určíme poměrné prodloužení v hloubce x a ve směru i -tého tenzometru růžice:

$$\varepsilon_i(x) = \frac{d\varepsilon p_i(x)}{j d\varepsilon p(x)} \quad (3)$$

Tato tři poměrná prodloužení v hloubce x na ose vrtané díry pod povrchem určují výpočtem (například podle Mohrovy kružnice) jednoznačně zbylá dvě hlavní zbytková napětí a jejich směr vůči aplikované růžici.

Závěr

Funkce derivace signálu (2) je pro daný materiál a průměr otvoru daná numerickým experimentem a je jediná –tabelovatelná pro opakované používání.

Tento výzkum na téma: „Optimalizace elastických konstant pro tenzometrické aplikace“ je podporován grantem GAČR_106/02/0612.

Literatura

- [1] Vítek K. : Doubrava, K., Holý, S., Mareš T. : *Hole-Drilling Metod Test Using Bending Specimen*, 40. Mezinárodní konference experimentální analýzy napětí, ČVUT v Praze 2002, str.267 až 272. ISBN 80-01-02547-0
- [2] Vítek K. : Doubrava, K., Holý, S., Mareš T. : *Residual Stress of Elbow Tubes*, CO-MAT-TECH 2002, 10. mezinárodní konference Trnava – STU Bratislava 2002, str. 438 až 441, ISBN 80-227-1768-1