

E xperimentální A nalýza N apětí

2004

MEASUREMENT OF RESIDUAL STRESSES USING MAGNETO ELASTIC METHOD

MĚŘENÍ ZBYTKOVÉHO NAPĚTÍ POMOCÍ MAGNETOELASTICKÉ METODY

Lubomír Houfek¹, Petr Krejčí²

In paper is described a new method for measurement of residual stresses. This method is based on Barkhausen noise and called magneto elastic method. In BUT we used this method on device STRESSCAN 500C, made by Stresstech. In paper is describe how we calibrate this device and prepare calibration sample.

Keywords: *residual stresis, magnetoelastic method, Barghausen noise.*

Klíčová slova: *zbytkové napětí, magnetoelastická metoda, Barghausenův šum.*

Úvod

Zjišťování velikosti zbytkových napětí v materiálu je jedním z možných způsobů, jak kontrolovat kvalitu výroby. V současné době existuje několik metodik, jak toto napětí vyhodnocovat. Magnetoelastická metoda je jednou z nedestruktivních metod.

Princip metody

Magnetoelastická metoda je založena na následujícím principu. Feromagnetické materiály jsou složeny z malých magnetických oblastí podobných tyčovým magnetům, které se nazývají domény. Každá doména se magnetizuje podél některých krystalograficky význačných směrů. Domény jsou přitom navzájem odděleny hranicemi, kterým se říká doménové stěny. Vnější magnetické pole přitom způsobuje pohyb doménových stěn. Aby se doménová stěna mohla pohnout, doména na jedné straně stěny se musí zvětšit a doména na druhé straně se smrští. Výsledkem je pak změna v celkové magnetizaci vzorku. Je-li cívka z vodivého drátu umístěna v blízkosti vzorku v době, kdy se doménová stěna pohybuje, související změna magnetizace vzorku indukuje v cívce elektrický puls.

¹ Ing. Lubomír Houfek, Ph.D.: Ústav mechaniky těles, mechatroniky a biomechaniky, Fakulta strojního inženýrství, Vysoké učení technické v Brně; Technická 2896/2, 616 69 Brno, Česká republika, tel.: +420541142887, e-mail: houfek@umt.fme.vutbr.cz

² Ing. Petr Krejčí, Ph.D.: Ústav mechaniky těles, mechatroniky a biomechaniky, Fakulta strojního inženýrství, Vysoké učení technické v Brně; Technická 2896/2, 616 69 Brno, Česká republika, tel.: +420541142888, e-mail: krejci@umt.fme.vutbr.cz

První elektrické sledování pohybu doménových stěn provedl profesor Barkhausen v roce 1919. Dokázal, že magnetizační proces, který je charakterizován hysterezní smyčkou, ve skutečnosti není spojitý, nýbrž je tvořen malými skoky, vzniklými pohybem magnetických domén v důsledku vnějšího magnetického pole. Jsou-li pulsy vznikající pohybem domén spojeny, vznikne typický signál, který se nazývá Barkhausenův šum.

Barkhausenův šum má pro většinu materiálů frekvenční spektrum začínající na magnetizační frekvenci a končící přibližně na 250 kHz. Signál je exponenciálně tlumen v závislosti na vzdálenosti, kterou projde uvnitř materiálu. Primární příčinou tlumení jsou vířivé proudy indukované při šíření signálu vznikajícího pohybem domén. Útlum určuje hloubku, ze které lze ještě informaci získat (měřicí hloubku).

Hlavní faktory, které ovlivňují tuto hloubku jsou:

- frekvenční rozsah generovaného signálu
- vodivost a permeabilita zkoušeného materiálu

Při běžných aplikacích se měřicí hloubka pohybuje mezi 0.01 a 1.5 mm. Na intenzitu signálu Barkhausenova šumu mají vliv dva významné materiálové parametry. Jedním je přítomnost a rozložení pružných napětí, která ovlivňují cestu, po které se domény ubírají směrem ke snadné orientaci ve směru magnetizace. Tento jev, kdy elastické vlastnosti ovlivňují doménovou strukturu a magnetické vlastnosti, se nazývá magnetoelastická interakce. V důsledku magnetoelastické interakce u materiálů s pozitivní magnetostrikcí (železo, většina ocelí, kobalt) tlakové napětí snižuje intenzitu Barkhausenova šumu, zatímco tahové napětí ji zvyšuje. Tuto skutečnost lze využít k tomu, že měření intenzity Barkhausenova šumu použijeme ke stanovení zbytkového napětí. Z měření lze určit i směr základních napětí.

Dalším významným parametrem, který ovlivňuje úroveň Barkhausenova šumu, je metalurgická struktura. Tento jev může být hrubě popsán s použitím pojmu tvrdost: intenzita signálu spojitě klesá s rostoucí tvrdostí. Měření Barkhausenova šumu tedy poskytuje informaci o mikrostrukturním stavu materiálu.

Většina běžných povrchových vad, jako je spálení po broušení, nezakalené hrany, plochy nebo oduhlčené oblasti určitým způsobem ovlivňuje napětí či mikrostrukturu a lze je detekovat magnetoelastickými metodami. Množství dynamických procesů jako je tečení nebo únava materiálu se projevuje změnami v napětí a mikrostruktuře, může být tedy sledováno magnetoelasticky.

Zjišťování kalibrační křivky

Aby bylo možné provádět měření, musí se do přístroje nejprve nahrát kalibrační křivka, pomocí které se přepočítávají hodnoty Barkhausenova šumu na příslušná napětí. Kalibrace se provádí na kalibračním zařízení, které se skládá ze dvou na sobě nezávislých polohovacích zařízení, které slouží k ohýbání kalibračního vzorku ve dvou nezávislých směrech. Kalibrační vzorek je ve tvaru kříže (obr. 1) a je polepen tenzometry ve dvou směrech, aby bylo možno měřit ohybové napětí. Nad vzorkem je umístěn kalibrační snímač, který měří hodnoty Barkhausenova šumu. Na základě známého napětí a velikosti Barkhausenova šumu je možné přiřadit velikost napětí příslušné hodnotě Barkhausenova šumu.

Řídící a měřicí jednotka je mobilní zařízení, které provádí vlastní měření zbytkového napětí. Pracuje ve čtyřech režimech: kalibrace, měření, experiment, nastavení.

Při režimu kalibrace dochází k proměření kalibračního vzorku a získávání kalibrační plochy. Získaná kalibrační plocha se převede do paměti řídicí jednotky a při režimech měření nebo experiment se pomocí ní vyhodnocují velikosti a směry zbytkových napětí. Režim měření a experiment se do sebe liší tím, že při měření dochází k jednorázovému odečtu hodnoty, zatímco v režimu experiment se jedná o kontinuální sběr dat.

Pro vlastní měření slouží řada speciálních i univerzálních snímačů. Všechny v sobě obsahují dva páry feromagnetických břitů. Jeden pár slouží k magnetizaci, druhý pro snímání odezvy. Snímače se liší hlavně provedením špiček, které jsou přizpůsobené pro různé technické aplikace, jako je například měření kroužků ložisek, vnitřních prostorů válců motorů, zubů ozubených kol, apod.

Závěr

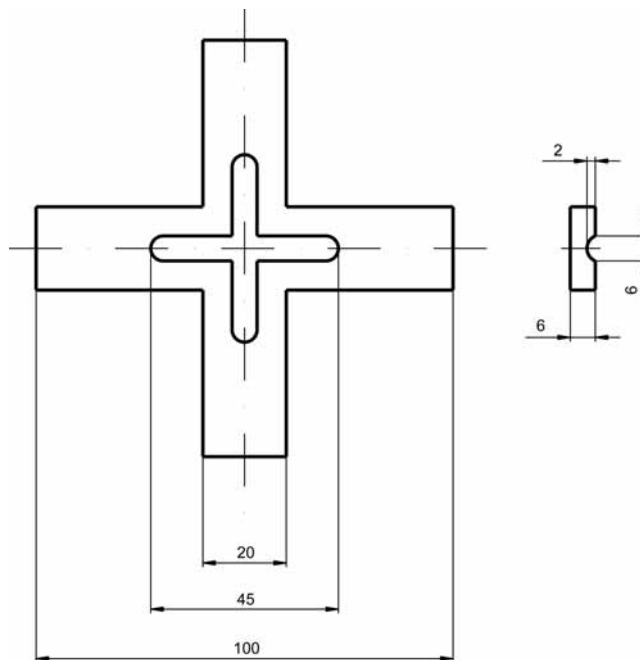
V příspěvku je popsána magnetoelastická metoda pro zjišťování zbytkových napětí v materiálu nedestruktivní cestou. Je popsán její princip a možnosti měření. Je ukázáno jak se zjišťují kalibrační křivky pro zařízení Stresscan 500C.

Literatura

[1] Materiály firmy PCS, s.r.o., oddělení analytika.

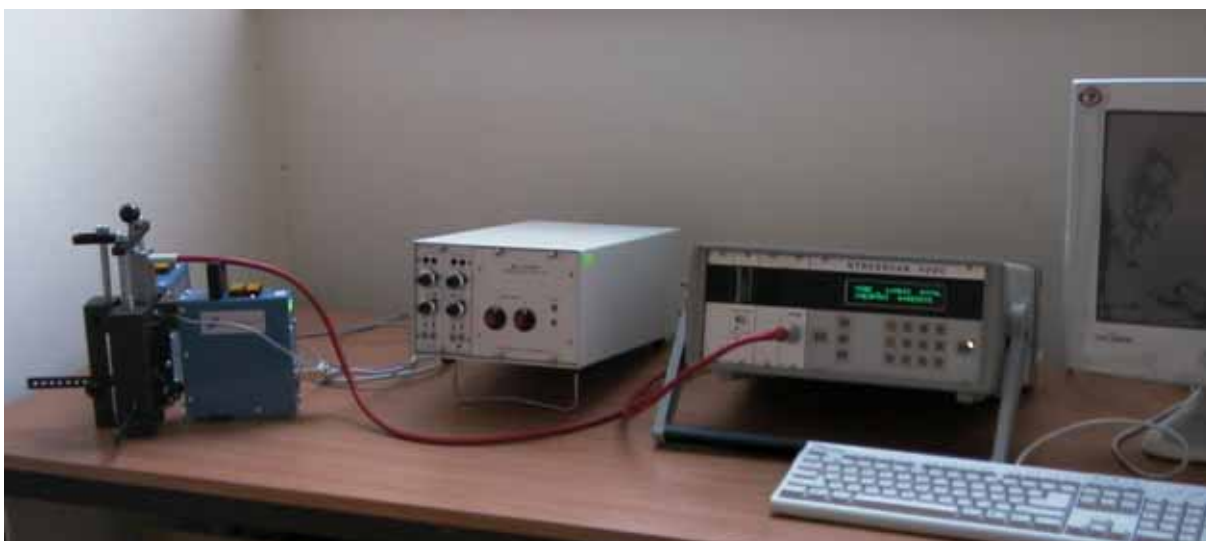
Poděkování

Příspěvek vznikl za podpory výzkumného záměru Ministerstva školství, mládeže a tělovýchovy ČR MSM 262100024 – „Výzkum a vývoj mechatronických soustav“.



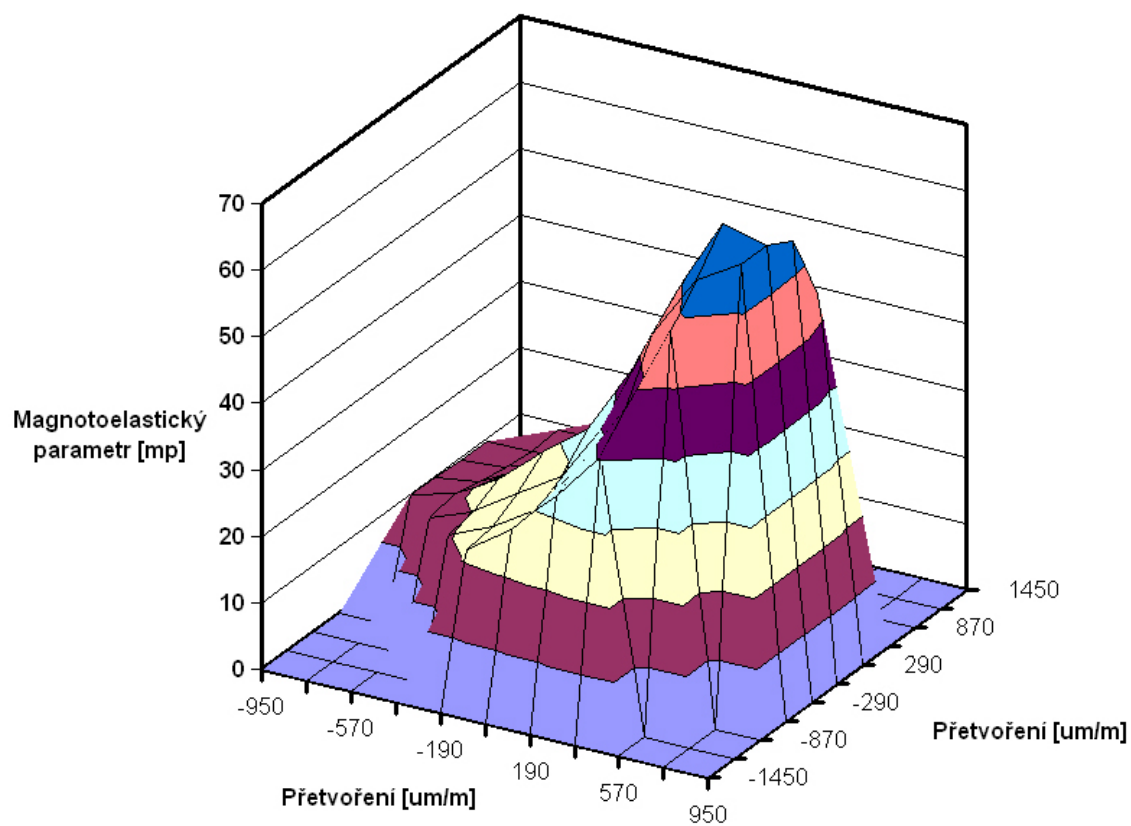
Obr. 1: Kalibrační vzorek

Fig. 1: Calibration sample



Obr. 2: Zařízení STRESSCAN 500C

Fig. 2: Device STRESSCAN 500C



Obr. 3: Kalibrační plocha

Fig. 3: Calibration area