

Formovanie magnetického poľa vo vodivom biomateriály v dôsledku deformácie

Vladimir Chudacik¹, Milan Smetana¹, Pavel Karban²

¹Katedra teoretickej elektrotechniky a biomedicínskeho inžinierstva, Elektrotechnická fakulta, Žilinská univerzita v Žiline, email: vladimir.chudacik@fel.uniza.sk, milan.smetana@fel.uniza.sk

²Katedra teoretickej elektrotechniky, Fakulta elektrotechnická, Západočeská univerzita v Plzni, email: karban@kte.zcu.cz

Magnetic field formation in conductive biomaterial due to the deformation

Abstract – In this paper, the impact of plastic deformation of conductive biomaterial on magnetic field formation is described. Austenitic stainless steel specimens after plastic deformation are investigated by non-destructive way under same conditions. Weak magnetic fields are measured using fluxgate sensor. Magnetic field distribution and content of martensitic structure inside austenitic specimen is discussed.

Keywords – Austenitic Stainless Steel; Conductive Biomaterial; Fluxgate sensor; Magnetic Field Distribution; Plastic Deformation.

I. ÚVOD

Biomateriál je neživý materiál používaný v medicínskych zariadeniach určený na interakciu s biologickými systémami. Použitie biomateriálov je veľmi široké. Používajú sa vo veľkej miere na nahradenie niektorých častí kostry a pohybového ústrojenstva, významné je taktiež ich využitie v kardiovaskulárnom systéme či pri náhrade funkcií ďalších ľudských orgánov. Tvoria tiež dôležité rozhranie medzi prístrojmi a ľudským organizmom pri dlhodobom monitorovaní či chirurgických zákrokoch. Toto rozsiahle využitie vyžaduje široké spektrum rôznych typov biomateriálov pre ich špecifické účely. Ako biomateriály sa používajú kovy, polyméry, keramika, sklá či zliatiny. [1,2]

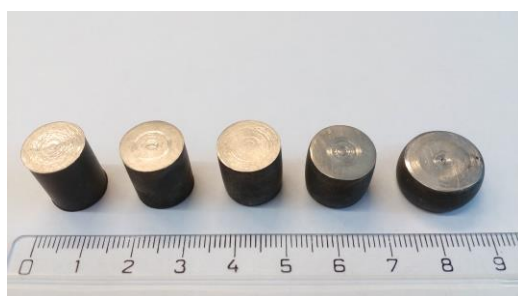
Požadovaná interakcia biomateriálov a ľudských tkanív kladie vysoké nároky na kvalitu, stabilitu a trvanlivosť týchto materiálov. Nedeštruktívne testovanie spolu s metodami vyhodnocovania stavu materiálov je preto vhodná alternatíva stanovenia použiteľnosti protézy, implantátu, biomateriálového komponentu či biokompatibilného rozhrania. Veľkou výhodou je predovšetkým v prípade nesériových výrobkov, kde by deštruktívne testovanie vyžadovalo viacnásobnú výrobu dielov na mieru.[3]

Na rôzne druhy odchýlok, nedokonalostí a poškodení bolo vyvinuté množstvo metód kontroly. Jedným z druhov poškodení je deformácia biomateriálu v dôsledku dlhodoberj záťaže a opotrebovania. Plastická deformácia biomateriálu predstavuje znehodnotenie z hľadiska jeho funkčnosti. Jedná sa o rizikový faktor, ktorý môže mať fatálne následky a spôsobiť závažnejšie poranenia či drastické zhoršenie zdravia bez varovných signálov. Deformované materiály sú náchylnejšie na tvorbu prasklín a zlomov, v najhoršom prípade môže dôjsť k roztriešteniu materiálu a zasiahnutiu, prerazeniu a kontaminácii blízkych tkanív a orgánov.

Táto práca sa zameriava na vyšetrovanie miery deformácie vodivých biomateriálov – austenitických koróziivzdorných ocelí. Plastická deformácia austenitických koróziivzdorných ocelí sa prejavuje okrem zmeny tvaru a mechanických vlastností aj zmenou elektromagnetických prejavov. Typickým dôsledkom pôsobenia vonkajších síl na tento biomateriál je lokálna zmena mikroštruktúry. Austenitické štruktúry sa transformujú na martenzit. Táto premena má za následok taktiež lokálne oslabenie biomateriálu, ktorý je tak napríklad náchylnejší na tvorbu korózie. Martenzit je feromagnetický materiál narozdiel od austenitu. Tento výrazný rozdiel v elektromagnetických vlastnostiach poskytuje možnosť využiť senzory magnetických polí na snímanie odchýlok v magnetickom poli a nedeštruktívnym spôsobom detegovať poškodenie biomateriálu. [4,5]

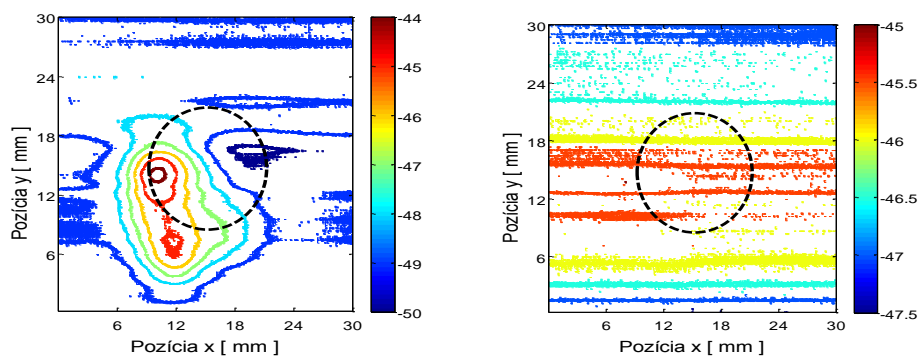
II. EXPERIMENTÁLNE MERANIA A VÝSLEDKY

Austenitické koróziivzdorné ocele AISI 316L, AISI 316Ti a AISI 304 sú skúmané a ich magnetická odozva na rôzne stupne deformácie je vyšetrovaná. Päť kusov oceľových vzoriek valcového tvaru s polomerom $r = 6\text{mm}$ a výškou $h = 15\text{mm}$ bolo deformovaných pre každý typ ocele. Všetky vzorky pred deformáciou boli vyžihávané pri teplote $T = 850^\circ\text{C}$ po dobu $t = 15$ minút. Pri snímaní nevykazovali prítomnosť magnetického poľa. Následne boli deformované pomocou hydraulického lisu na preddefinovaný rozmer. Štyri stupne deformácie boli stanovené: 5%, 10%, 20% a 40%. Každý stupeň deformácie predstavuje percentuálne skrátenie vzorky vzhľadom na počiatočný stav, vid' Obrázek I.



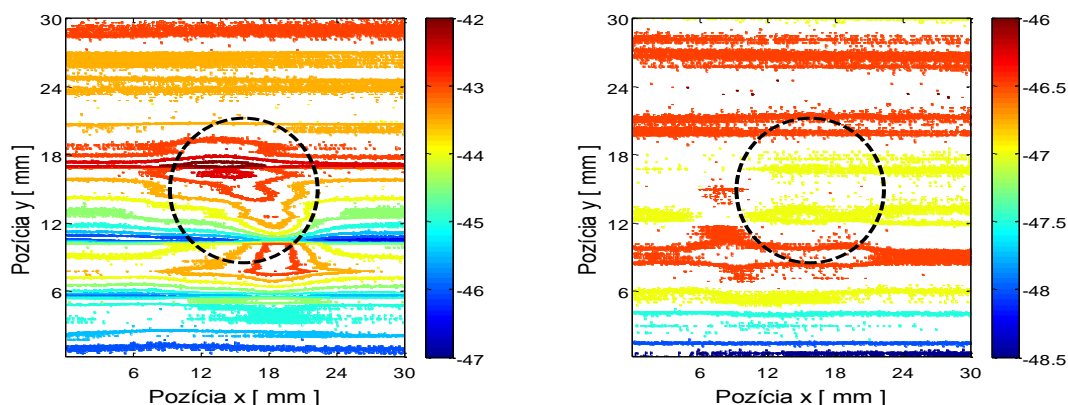
Obrázek I. Vzorky austenitickej ocele pred a po plastickej deformácii

Pri experimentálnom meraní bol použitý fluxgate senzor vhodný na meranie slabých magnetických polí. Merané dáta boli získané pomocou zbernej meracej karty a mechanického ramena ovládaného pomocou rozhrania LabVIEW. [6] Meranie sa uskutočnilo ako plošný sken nad hornou podstavou vzorky – nad miestom pôsobenia deformačnej sily, identicky pre všetky vzorky s odstupom $s = 1$ mm.



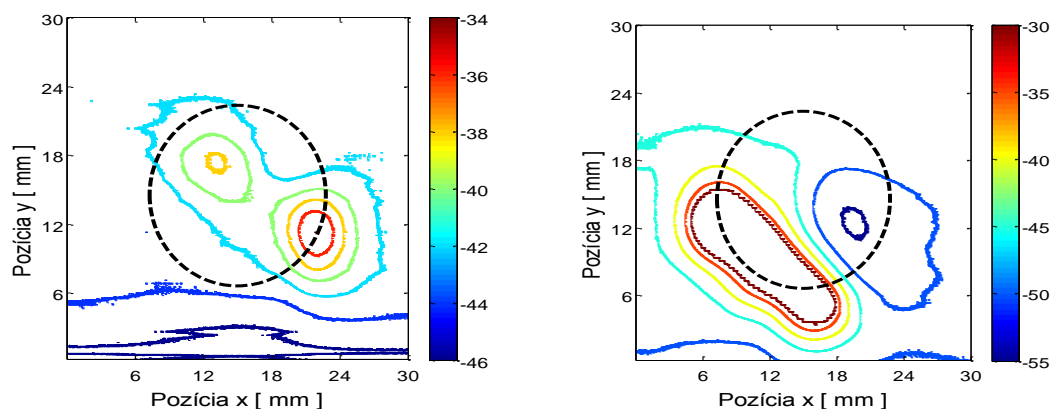
Obrázek II. Rozloženie magnetického poľa pri 10% úrovni deformácie – AISI 304 (vľavo) a AISI 316L (vpravo)

Na obrázku II je znázornené rozloženie magnetického poľa po 10% skráteneí vzorky. Ocele AISI 316L a 316Ti vykazujú veľmi slabé narušenie rozloženia poľa, naproti tomu AISI 304 vykazuje jednoznačne identifikovateľnú prítomnosť magnetického poľa na povrchu vzorky. Možno usudzovať, že v tejto oceli sa tvorí väčšie množstvo martenzitu už pri 0.7 mm až 1.5 mm preliačeneí vzorky. Je teda možné zaznamenať deformáciu už pri jej prvotnom vzniku, kdeže už pri 5 % deformácii vykazuje slabé magnetické pole.



Obrázek III. Rozloženie magnetického poľa pri 20% úrovni deformácie – AISI 316Ti (vľavo) a AISI 316L (vpravo)

Austenitické koróziivzdorné ocele AISI 316L a 316Ti formujú zreteľné magnetické pole pri 20% úrovni deformácie, čo zodpovedá preliačeneí vzorky o 3 mm, vid' Obrázek III. Jedná sa relatívne malú deformáciu. Tieto ocele spĺňajú požiadavky biokompatibility a množstvo vytvoreného martenzitu je dostatečné na jeho skorú detekciu, preto sú vhodné na použitie v ľudskom tele s možnosťou budúcej priebežnej diagnostiky ich stavu.



Obrázek IV. Rozloženie magnetického poľa pri 40% úrovni deformácie – AISI 316Ti (vľavo) a AISI 304 (vpravo)

Deformácia zodpovedajúca 40% skráteneí vzorky, zobrazená na Obrázku IV, pri všetkých troch oceliach jednoznačne preukázala sformovanie relatívne silného reziduálneho poľa nie len na povrchu vzorky ale aj po všetkých stranách vzorky. Toto pole je merateľné aj pri vyšších vzdialenostiach senzora od vzorky, čo predikuje možnosť budúceho neinvazívneho spôsobu detekcie poškodenia biomateriálu in vivo. Obsah martenzitických domén v takto deformovaných vzorkách je relatívne vysoký a je rozložený v celom objeme pôvodne austenitického biomateriálu.

III. ZÁVER

Bol skúmaný vplyv pôsobenia externej deformačnej sily na zmenu magnetického poľa vodivých biomateriálov. Austenitické koróziivzdorné ocele AISI 316L, AISI 316Ti a AISI 304 boli vyšetované. Použitím fluxgate sondy boli zaznamenané magnetické polia na povrchu skúmaných vzoriek. Magnetické polia pred deformáciou neboli prítomné. Boli sformované v dôsledku nárastu množstva martenzitických štruktúr v austenitickom biomateriály. Množstvo martenzitu narastá s rastúcou mierou deformácie. 5% a 10% úroveň deformácie umožňuje detekciu ocele AISI 304 a pri 20% úrovni deformácie je možné zaznamenať všetky typy ocelí. To zodpovedá možnosti detekcie po približne 3 mm preliačení biomateriálu.

V ďalšom výskume deformačných účinkov a ich detekcie sa zameriame na lokalizáciu a stanovenie rozmiestnenia martenzitických domén v austenite a na určenie potrebného množstva martenzitu na zaznamenanie odozvy a pozitívneho určenia miesta deformácie.

POĎAKOVANIE

Podakovanie za spoluprácu na výskume a za prípravu austenitických vzoriek patrí prof. Ing. Petrovi Palčekovi, PhD. A Ing. Monike Oravcovej z Katedry materiálového inžinierstva, Strojníckej fakulty Žilinskej univerzity v Žiline.

LITERATÚRA

- [1] Ratner, Buddy D.; Hoffman, Allan S.; Biomaterial Science: An Introduction to Materials in Medicine. U.S. : Academic Press, 1996. ISBN 0-12-582460-2.
- [2] Davis, J. R. Handbook of Materials for Medical Devices. ASM International, 2003. ISBN 0-87170-790-X.
- [3] Kopec, Bernard. Nedestruktivní zkoušení materiálu a konstrukcí. Brno: Akademické nakladatelství CERM, s.r.o., 2008. ISBN 978-80-7204-591-4.
- [4] Davis, J.R.,ASM Specialty Handbook: Stainless Steels, ASM International, 1994, ISBN: 978-0-87170-503-7
- [5] Palcek, P., Markovicova, L., Zatkalikova, V.: Materialy pre biomedicínske inžinierstvo. EDIS, University of Zilina, Zilina, 2015, ISBN 978-80-554-0988-7.
- [6] LabVIEW, National instruments, <http://www.ni.com/labview/>