

MERILNIK NAMAGNETENOSTI S TRESO[^]IM SE VZORCEM (VSM)

CONSTRUCTION OF THE VSM FOR MAGNETISATION MEASUREMENTS

FRANC DIMC¹, D. FEFER²

¹In{titut Jo'ef Stefan, Jamova 39, 1000 Ljubljana; Fakulteta za pomorstvo in promet, Pot pomor{akov 4, 6320 Portoro'

²Fakulteta za elektrotehniko, Tr'a{ka 19, 1000 Ljubljana

Prejem rokopisa - received: 1997-10-01; sprejem za objavo - accepted for publication: 1997-12-19

Meritve magnetnih lastnosti materialov temeljijo na razli-nih na-elih. Glede na predpise IEC obstajata dve glavni vrsti: meritve v odprtem in zaprtem magnetnem krogu. Meritve v odprtem krogu so natan-nej{e in zanje potrebujemo manj{e koli-ine vzorcev. Relativno lahko kalibracijo in hitro izvedbo meritve omogo-a instrument, ki izkori{a na-elo magnetne indukcije. Tresenje vzorca vzbuja v okoli{kih tuljavah inducirano napetost, ki jo merimo s sistemom s fazno sklenjeno zanko. Dopustna velikost vzorca je dolo-ena z obmo-jem homogenosti stati-nega magnetnega polja. Najmanj{a koli-ina vzorca je odvisna od njegove namagnetnosti, ki jo je sposoben dose-i v najve-jem magnetnem polju. V re'i elektromagneta z vodno hlajenimi navitji dosegamo najve 0,75 T. Tresenje vzorca s frekvenco 66 Hz omogo-a elektromehanski pretvornik. Temperaturno odvisnost namagnetnosti magnetnih vzorcev opazujemo, ko vzorec postavimo v pe-. Najvi{jja temperatura presega Curiejeve temperature vseh faz merjenega vzorca. Uporovno navitje je izdelano iz nemagnetnega, neinduktivno navitega materiala.

Klju-ne besede: na-rtovanje, magnetne lastnosti, namagnetnost, vibracijski magnetometer

Magnetic properties measurements base on different principles. Measurements in an open and in closed magnetic circuit according to the IEC standards represent two main varieties of magnetic measurements. Open magnetic circuit measurements are more sensitive and less amount of material is needed. Magnetic induction based instrument is relatively easy to calibrate and enables fast testing of the sample. Phase locked loop circuit ensures accurate measurement. Voltage is caused by induction: the magnetised sample is vibrated in the vicinity of the detection coils. The minimum amount of the sample depends upon its magnetisation in the strongest exciting magnetic field. Water cooled electromagnet is capable to produce 0,75 T. Sample is vibrated with 66 Hz by the electromechanical transducer. Temperature dependence of the magnetisation is observed when the sample is exposed to heat. The highest temperature inside the furnace exceeds Curie temperatures of the all samples. Heater windings are made of nonmagnetic wire, which is wound noninductively.

Key words: construction, magnetic properties, magnetisation, Vibrating Sample Magnetometer

1 UVOD

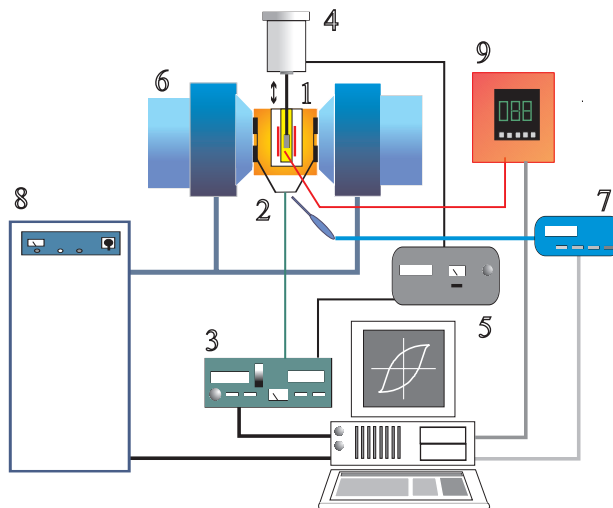
Kakor sta leta 1831 v Evropi in Ameriki Faraday in Henry neodvisno odkrila na-elo magnetne indukcije, tako sta tudi leta 1956 neodvisno pri{la na idejo o vibra-cijskem magnetometru (VSM) dva raziskovalca¹.

Merilna metoda (**slika 1**) temelji na pojavu induci-rane napetosti zaradi spreminjanja medsebojne induktivnosti treso-ega se vzorca (1) in odjemnih tuljav (2). Glavni deli merilnika so predvsem: elektromehanski pretvornik (4) z mo-nostnim oja-evalnikom (5), merilni oja-evalnik z vgrajenim oscilatorjem (3), odjemne tuljave (2) in elektromagnet (6) z napajalnikom (8). K dodatni opremi spada krmilnik temperature s pe-jo (9).

2 NA^RTOVANJE

Ob-utljivost merilnega sistema zahteva, da so od-jemne tuljave ~im bli'je treso-emu se vzorcu. Zahteva po vstavitvi pe-i v merilni sistem povzro-a odmik tuljav od vzorca. V izra-unu velikosti in razporeditve odjemnih tuljav smo upo{tevali debelino grelnika, izolacije in hladilne stene, ki lo-ijo vzorec in odjemne tuljave (**slika 2**).

Meritev porazdelitve gostote magnetnega polja B v re'i elektromagneta je zelo zamudno opravilo. Z izra-u-



Slika 1: Sestavni deli merilnika VSM: (1) vzorec na treso-i se palici, (2) sistem odjemnih tuljav, (3) merilni oja-evalnik, (4) elektromehanski pretvornik, (5) mo-nostni oja-evalnik, (6) elektromagnet, (7) teslameter, (8) tokovni izvor, (9) regulator temperature vzorca s termoelementom, meritev vodi in nadzoruje (10) osebni ra-unalnik

Figure 1: VSM scheme: (1) sample on a vibrating stick, (2) sensing coils, (3) lock-in amplifier, (4) electro-mechanical transducer, (5) power amplifier, (6) electromagnet, (7) teslameter, (8) power supply, (9) temperature controller and (10) PC



Slika 2: Grelnik, navit na epruveto, obdan s toplotno izolacijo, v hladilnem bloku iz bakra, priključki za grelec, termoelement, merilni signal in dovod hladilne vode

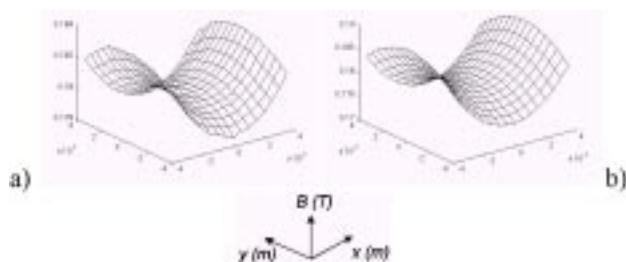
Figure 2: Heater, wounded on quartz tube, thermally isolated against cooling block of copper, sockets for measuring signal from and thermoelement, inlets for the cooling water

nom smo se meritvam poskusili izogniti. Temelje- na teoriji Greenovih funkcij smo izra-unali porazdelitev naboja po površini polovih ~evljev. S takšnim na-inom smo preslikali razmere v elektrostatično polje, kar si smemo privo-iti. Rezultati meritev B v sredini re-e in izra-un se dobro ujemajo (**slika 3**). Primerjali smo tudi izra-une za B , za koničaste in ploščate polove ~evlje.

Glavni del pe-i predstavlja grelna telo iz nemagnetne NiCr-ice. Na izdelani napravi je bila za vzdr-evanje temperature okrog 700°C potrebna mo- na grelniku 100 W. Neinduktivno navitje v vodniku in enosmerni tok zmanjšujeta velikost motenj v sistemu. Regulator temperature ima vgrajen varnostni podsistem, ki izklopi instrument, kadar je preobremenjen.

3 SESTAVLJANJE

Deli naprave se med meritvijo ne smejo tresti. Z zanesljivo pritrditvijo in izbiro materialov za sestavne dele smo dosegli, da na merilni rezultat niso vplivali niti tresljaji iz okolice niti tisti, ki jih povzro-a sam instrument.



Slika 3: Diagram a) podaja rezultate meritve gostote magnetnega pretoka v re-i elektromagneta s polovimi ~evlji v obliki prisekanega sto'ca in razmaku 30 mm. Meritev je izvedena v to-kah, razmaknjenih za 0,50 mm s Hallovo sondo ($\phi = 1,8$ mm). Na diagramu b) rezultat izra-una kaže ujetje z meritvijo do 614% na opazovani površini znotraj re-e

Figure 3: Diagram a) shows the distribution of magnetic flux density inside the electromagnet gap (30 mm) with the conical pole tips. The distance between measuring points is 0,50 mm and the Hall probe with $\phi = 1,8$ mm was used. Result of the calculation shown on the diagram b) agrees with the measurement within 614%



Slika 4: Vzorec je pritrjen na konec palice, ki jo trese elektromehanski pretvornik, in le-i v homogenem polju elektromagneta. Na desni strani je pripravljena rotacijska ~rpalka za evakuiranje epruvete z vzorcem

Figure 4: Sample lies in the homogenous field of the electromagnet and is fixed at the end of the stick, which is vibrated by the transducer. Rotary pump is used for evacuation of the sample chamber

Z instrumentom imamo mo- nost ugotavljanja anizotropije vzorcev, ker je elektromehanski pretvornik, na katerega je vzorec trdno vpet, vrtljiv okoli svoje osi (**slika 4**).

Temperaturo vzorca merimo s termoelementom iz nemagnetne zlitine PtRh, za varnost delovanja skrbi termoelement ob grelniku.

Posebna epruveta z vzorcem omogo-a delo v vakuumu in dovajanje različnih plinov med meritvijo.

4 MEROSLOVNI POGLED

Za preverjanje primerljivosti rezultatov meritev magnetnih lastnosti materialov (B , in $\mu_0 H_c$) razni laboratoriji med seboj ob-asno izvajajo primerjalne meritve. Sledljivost posameznega instrumenta dolo-a njegov položaj na meroslovni lestvici⁴. Polo-aj VSM je dolo-en s to- nostjo dolo-itve namagnetnosti vzorcev, namenjenih za umerjanje.

Za ponovljivost meritev z VSM je zelo pomembna točnost meritve jakosti vzbujevalnega magnetnega polja⁵.

5 SKLEP

Meja merljivosti instrumenta je določena z najmanjšim magnetnim momentom, ki ga še lahko izmerimo. Magnetni moment vzorca pa ni odvisen le od njegovih snovnih lastnosti, ampak tudi od jakosti vzbujevalnega magnetnega polja. Izračunana vrednost momenta je bila 10^{-7} Am^2 , zaradi česar bomo z instrumentom lahko merili tudi namagnetnost paramagnetnih materialov.

6 LITERATURA

- ¹ van Oosterhout G. W., A Rapid method for measuring coercive force and other ferromagnetic properties of very small samples. *Applied Science Research B*, (1956) 6, 101-104 Foner, S., Vibrating sample magnetometer. *Review of Scientific Instruments*, (1956) 27, 548
- ² Bernards, J. P. C., Design of a detection coil system for a biaxial vibrating sample magnetometer and some applications. *Review of Scientific Instruments*, 64 (1993) 7, 1918-1930
- ³ Dimc, F., Merilnik namagnetnosti s treso-im vzorcem, *magistrsko delo*, Fakulteta za elektrotehniko, Ljubljana, 1996, 118 strani
- ⁴ McGuinness, P. J., Traceable measurements for magnetic materials. *Kovine, zlitine, tehnologije*, 29 (1995) 5-6, 481-484
- ⁵ Sievert, J., Ahlers, H., Luedke, J., Pareti, L., Solzi, M., European intercomparison of measurements on permanent magnets, *IEEE Transactions on Magnetics*, 29 (1993) 6, 2887-2889