

Jaromír Brož; František Vilím

Nová metoda k stanovení koercitivní síly

Časopis pro pěstování matematiky a fysiky, Vol. 75 (1950), No. 3, D307--D312

Persistent URL: <http://dml.cz/dmlcz/123877>

## Terms of use:

© Union of Czech Mathematicians and Physicists, 1950

Institute of Mathematics of the Academy of Sciences of the Czech Republic provides access to digitized documents strictly for personal use. Each copy of any part of this document must contain these *Terms of use*.



This paper has been digitized, optimized for electronic delivery and stamped with digital signature within the project *DML-CZ: The Czech Digital Mathematics Library* <http://project.dml.cz>

## NOVÁ METHODA K STANOVENÍ KOERCITIVNÍ SÍLY.

Dr. JAROMÍR BROŽ a FRANTIŠEK VILÍM, Praha.

Koercitivní síla je veličina pro magnetické chování látky charakteristická a je beze sporu jednou z nejdůležitějších materiálových konstant. Stanovení koercitivní síly má velký význam jak pro materiály magneticky měkké tak i pro materiály tvrdé. U materiálů magneticky měkkých závisí hysterese ní ztráty i maximální permeabilita na šířce hysterese ní smyčky, která je dána právě koercitivní silou. U materiálů magneticky tvrdých je faktor kvality vedle remanence opět podmíněn koercitivní silou.

V článku je popsána nová metoda, kterou autoři pro sledovaný účel vypracovali ve Fyzikálním výzkumu ČZTS a přihlásili k patentování. Pomocí této metody lze určovat koercitivní sílu na vzorcích do jisté míry libovolných rozměrů a profilů z ferromagnetického materiálu různého chemického složení a způsobu zpracování.

Koercitivní síla je definována jako ona záporná intenzita magnetického pole, která je nutná a postačující k odstranění zbytkového magnetismu dané látky. Podle této definice je tudíž dána při plném rozvinutí hysterese ní smyčky vzdáleností bodu ( $H_c$ ), v němž demagnetizační část smyčky protíná osu intenzit magnetického pole  $H$ , od bodu tvořícího střed souřadného systému ( $H = 0$ ). K určení koercitivní síly není ovšem nutně dlouhotrvající proměření celé hysterese ní smyčky. Je znám větší počet způsobů [1], které umožňují určení koercitivní síly, aniž potřebují proměřovat celou křivku.

Nová metoda, která byla vypracována pro stanovení koercitivní síly u ferromagnetických materiálů nejrůznějších druhů na vzorcích ve tvaru tyček, pásků neb svazečků plechu běžných rozměrů a profilů, patří mezi způsoby pracující s otevřeným obvodem měřeného vzorku. Metoda používá k magnetování vzorku dlouhého solenoidu, jenž je připojen ke zdroji stejnosměrného proudu, jehož velikost i směr se dá měnit. Poměr délky solenoidu k jeho průměru musí být volen tak, aby v celé jeho střední části, kterou měřený vzorek zaujímá, bylo magnetické pole dostatečně homogenní. Intenzita tohoto pole je dána výrazem

$$H' = \frac{0,4\pi n I}{l},$$

kde  $n$  je počet závitů solenoidu,  $l$  jeho délka a  $I$  intenzita proudu jím procházejícího. Hodnota magnetického pole vloženého vzorku není však identická s uvedenou zdánlivou intenzitou pole  $H'$ , kterou působí solenoid bez vzorku. Skutečné magnetické pole  $H$  vzorku je totiž vlivem demagnetizačního účinku volných konců vzorku menší než zdánlivé pole  $H'$  prázdného solenoidu. Pro vztah mezi skutečnou intenzitou magnetického pole  $H$  a zdánlivou intenzitou pole  $H'$  platí

$$H = H' - NJ,$$

kde  $J$  značí magnetisaci vzorku a  $N$  demagnetizační faktor, který pro vzorek tvaru elipsoidu je konstantou, závislou pouze na rozměrech

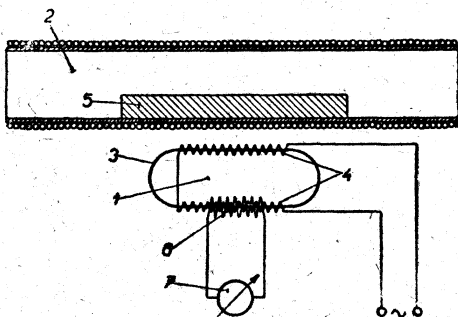
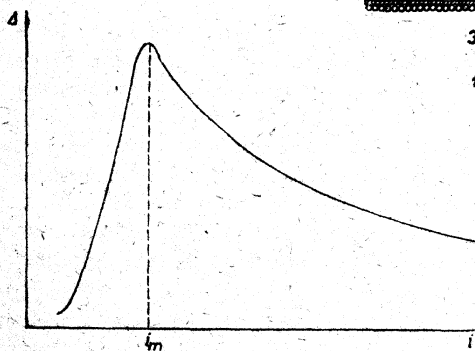
vzorku. U vzorků jiných tvarů není ovšem demagnetizační faktor konstantní, poněvadž magnetisace v celém jejich objemu není rovnoměrně rozdělena, nýbrž jeho hodnota se od místa k místu mění. Demagnetizační faktor se pro tyto tvary — na rozdíl od elipsoidů, kde se stanoví početně — určuje na základě experimentálním [2] a nezávisí tu jen na rozměrech vzorku, nýbrž i na výši magnetisace a na permeabilitě [3].

Z uvedeného důvodu se vzorky ve tvaru tyčí kulatých i jiných profilů, po případě svazečky plechu nehodí pro přesná měření magnetizačních křivek, ale dá se jich zcela dobře užití pro určení koerцитivní síly. Při intenzitě pole rovné koerцитivní síle je totiž magnetisace  $J$  vzorku nulová, tedy i součin  $NJ$  je roven nule a skutečná intenzita pole  $H$  ve vzorku nezávisí na hodnotě demagnetizačního faktoru a tudíž ani na rozměrech vzorku. Pro intenzitu magnetického pole odpovídající koerцитivní síle  $H_c$  platí

$$H_c = H_c',$$

což znamená, že zdánlivá intenzita pole dává správnou hodnotu koerцитivní síly.

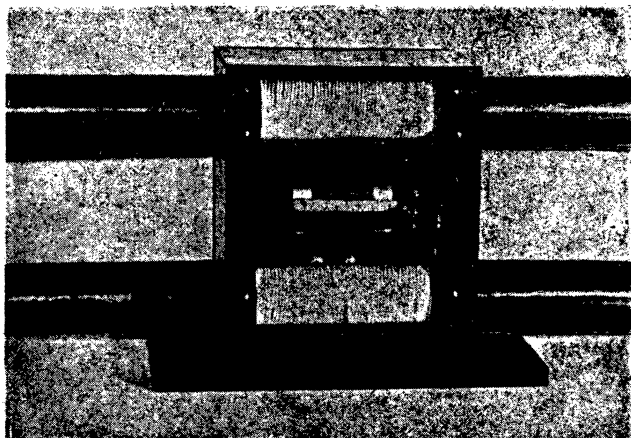
Obr. 1. Schematické znázornění metody k stanovení koerцитivní síly.



Obr. 2. Závislost hodnoty rozdílu výchylek  $\Delta = \delta_0 - \delta_x$  na intenzitě střídavého magnetizačního proudu  $i$  a měrného magnetického obvodu.

K stanovení koerцитivní síly vzorku je tudíž nutno zjistiti tu intenzitu pole, při níž jeho magnetisace se stane rovnou nule. Za tím účelem je zařízení (obr. 1), vypracované na základě popisované metody opatřeno měrným magnetickým obvodem 1, který je umístěn v určité vzdálenosti od solenoidu 2. Magnetický obvod je vytvořen páskem 3 z kvalitního, vysoce magneticky měkkého materiálu, který je rovnoměrně ovínut závity 4 protékanými střídavým proudem. Vzorek 5 působí magnetické rozptylové pole, takže magnetickým obvodem projde určitý magnetický tok, který je úměrný magnetisaci vzorku a který se překládá v ob-

vodu přes konstantní magnetický tok střídavý. Kromě vinutí 4 napájeného střídavým proudem je magnetický obvod opatřen dalším vinutím 6, které je připojeno k měřicímu přístroji 7. Koeficient vazby vzájemné indukce obou vinutí 4 a 6 závisí na magnetisaci pásku obvodu. Je-li magnetisace vzorku rovna nule, je rozptylový tok působený vzorkem rovněž nulový a magnetickým obvodem neprochází přídavný magnetický tok. Tento případ je zcela analogický případu, kdy solenoid je bez vzorku. Měřicí přístroj 7 dává pak výchylku  $\delta_0$ . Je-li magnetisace vzorku od nuly různá, prochází obvodem určitý tok, jenž budí přídavnou stejnosměrnou magnetisaci pásku, která způsobí změnu indukční vazby mezi oběma vinutími obvodu, což má za následek změnu elektromotorické síly proti původní hodnotě. Přístroj pak zaznamená výchylku  $\delta'$ , která je odlišná od původní výchylky  $\delta_0$  odpovídající nulové magnetisaci vzorku.



Obr. 3. Zařízení k stanovení koercitivní síly se dvěma solenoidy.

Intensitu střídavého proudu, která působí střídavou magnetisaci pásku obvodu a která je závislá na jeho magnetických vlastnostech a počtu závitů 4, je nutno nastavit tak, aby rozdíl výchylky při intenzitě pole blízké koercitivní síle  $H_c$  a výchylky odpovídající přímo koercitivní síle  $H_c$  byl co největší. Velikost tohoto rozdílu udává míru citlivosti pro stanovení koercitivní síly. Obr. 2 ukazuje závislost hodnoty rozdílu výchylek  $\Delta$  na intenzitě střídavého proudu  $i$ . Za jednu výchylku byla zvolena výchylka  $\delta_r$ , jež vzniká při přerušení magnetizačního proudu  $|I = 0, H = 0|$  při jeho zmenšování z maximální hodnoty, t. j. která odpovídá stavu, kdy magnetisace zkoušeného vzorku měla hodnotu zdánlivé remanence  $J_r'$ . Druhá výchylka  $\delta_0$  je působena intenzitou magnetického pole, při níž magnetisace vzorku se stane rovnou nule

$|J = 0|$ , t. j. intenzitou pole rovnou koercitivní síle  $H_c$ . Hodnota rozdílu těchto výchylek  $\Delta = \delta_0 - \delta_r$ , jak patrně z obr., se s intenzitou střídavého magnetizačního proudu  $i$  silně mění. Se stoupající intenzitou proudu zprvu prudce vzrůstá, až dosáhne maxima, a pak opět pozvolně klesá. Maximum křivky odpovídá též maximální citlivosti pro stanovení koercitivní síly. Maxima se dosahuje při určité intenzitě proudu  $i_m$ , která je pak pro všechna měření konstantou.

Na magnetický obvod působí kromě rozptylového toku vycházejícího z měřeného vzorku též rozptylový tok solenoidu. Tento rozptylový tok je při nižších hodnotách intenzity magnetického pole nepatrný a jeho vliv celkem zanedbatelný. Se stoupající intenzitou pole rozptylový tok solenoidu roste a při vysokých polích se v magnetickém obvodu překládá přes rozptylový tok vznikající na vzorku a způsobuje odchylky indukované elektromotorické síly, jež se pak projeví změnou výchylky přístroje. Je-li koercitivní síla malá, nepůsobí rozptylový tok solenoidu rušivě, při větší koercitivní síle ovlivňuje však do určité míry její správnou hodnotu.



Obr. 4. Uspořádání měřícího zařízení pro stanovení koercitivní síly.

nou hodnotu. Abychom tento nepříznivý vliv odstranili, použili jsme dalšího solenoidu (obr. 3), týchž rozměrů a se stejným počtem závitů, jako má původní solenoid. Tento druhý solenoid jsme umístili rovnoběžně a symetricky podle osy magnetického obvodu s původním solenoidem, takže magnetický obvod leží uprostřed mezi nimi. Magnetizační proud pochází oběma solenoidy, jež jsou zapojeny v sérii a to tak, že magnetická pole v nich vznikající jsou opačného směru. Na magnetický obvod se pak projevují pouze účinky vzorku, který se vkládá do jednoho z nich, zatím co působení rozptylových polí obou solenoidů na magnetický obvod se ruší. Obr. 4 představuje uspořádání měřícího zařízení. Na obr. vpravo je zesilovač, kterého bylo použito k dosažení vyšší citlivosti u vzorků malých průřezů.

Stanovená hodnota koercitivní síly může být ovlivněna též velikostí maximální intenzity magnetického pole, z níž byl vzorek měřen. Jak se má tato hodnota zvoliti, závisí přirozeně na druhu zkoušeného materiálu.

V každém případě má být intenzita pole tak vysoká, aby při jejím dalším zvyšování stoupající a klesající větve hysterese smyčky se kryly. Zda je tento požadavek splněn, pozná se podle toho, že provede-li se nové měření s maximální intenzitou pole o určité hodnotu vyšší, musí být naměřená koerzivní síla v obou případech stejná. Maximum intenzity pole je u různých druhů materiálu různě vysoké: u měkkého železa postačí obvykle asi 150 Oe, u ocelí asi 300 Oe a u zvláště tvrdých speciálních slitin až 1000 Oe i více.

Postup při stanovení koerzivní síly je tento: Nejprve se zapojí střídavý proud vhodné intenzity  $i_m$  do vinutí 4 magnetického obvodu a zjistí se výchylka  $\delta_0$ , kterou zaznamená měřicí přístroj 7. Na to se vloží do solenoidu vzorek, jehož koerzivní síla má být určena, a zmagnetuje se na určitou maximální hodnotu pole. Pak se proud do solenoidu snižuje až k nule, obrátí se směr magnetizačního proudu a tento se zvyšuje do záporných hodnot intenzity pole tak dlouho, až výchylka přístroje  $\delta$  dostoupí hodnoty  $\delta_0$ . Touto intenzitou magnetizačního proudu  $I$ , při níž výchylka přístroje je rovna  $\delta_0$ , a konstantami solenoidu je koerzivní síla určena.

Aby se dalo posoudit, jak dalece souhlasí hodnoty naměřené popsanou metodou se skutečností, provedli jsme pro srovnání stanovení koerzivní síly pomocí magnetometrické metody a po případě magnetickým permeametrem vypracovaným ve Fyzikálním výzkumu [4]. Výsledky získané měření na vzorcích různých rozměrů a profilů z různého druhu materiálu jsou uvedeny v tabulce.

Tabulka.

Druh materiálu	Rozměr vzorku			Koerzivní síla [Oersted]		
	délka [mm]	profil [mm]	průřez [mm <sup>2</sup> ]	nová metoda	magneto- metrická metoda	permea- metr FV
Mumetal (nevhodně žíhaný) .....	174	10 × 0,5	5,0	0,11 <sub>1</sub>	—	—
Měkké železo	182	15 × 5	30,0	0,24 <sub>9</sub>	0,26 <sub>9</sub>	—
speciálně tepelně zpracované	168	10 × 5	50,0	0,35 <sub>9</sub>	0,36 <sub>7</sub>	0,40
Aremanentní železo	183	16 × 1	16,0	0,41 <sub>0</sub>	0,41 <sub>1</sub>	—
Měkké železo	170	∅ 12	113,1	0,86 <sub>9</sub>	0,86 <sub>9</sub>	0,88
Stavební železo	170	∅ 9	63,6	1,65	1,63	—
Uhlíková ocel	167	10 × 10	100,0	2,37	2,34	2,40
cca 0,5% C	159	∅ 8	50,3	5,96	5,87	6,25
cca 1% C	167	∅ 6	28,3	8,87	8,56	8,80
Manganová ocel	163	8 × 7	56,0	13,2 <sub>1</sub>	13,0	13,6
Litina	190	6 × 5,5	33,0	13,7 <sub>9</sub>	13,7	—
Pérová ocel	177	9 × 0,1	0,9	22,4	22,4	—

## LITERATURA.

- [1] E. GUMLICH: Leitfaden der magnetischen Messungen, 1918, F. Vieweg, Braunschweig.  
E. GUMLICH: Messungen an ferromagnetischen Stoffen, Handbuch d. Physik (Geiger, Scheel), 1927, Springer, Berlin.  
P. B. A. LINKER: Elektrotechnische Messkunde, 1932, Springer, Berlin.
- [2] J. WÜRSCHMIDT: Z. Phys., **19** (1923), 388.
- [3] E. DÜSSLER: Ann. d. Phys., **86** (1928), 66.
- [4] J. BROŽ: Technické zprávy čs. stroj. a kov. prům. **3** (1949), 16—20.

\*

**A new method for quick estimation of coercitive force.** An attempt has been made of solving the problem of quick determination of the coercitive force for current samples of ferromagnetic materials. The method worked out for this purpose makes use of the uncompleted circuit of the investigated sample and the determination of the coercitive force is performed by means of the circuit magnetised by the A. C. By measuring the leakage flux produced by the sample and passing through the magnetic circuit the coercitive force is determined.

The method used is in comparison with other methods quick, and the values thus obtained are in very good agreement with the values obtained by absolute methods. It is possible by means of this method to determination the coercitive force for samples of different crosssections and that is its great advantage among other possible methods. The present article gives a description of this method and the results obtained herewith.

## OKO A OPTICKÉ PŘÍSTROJE.

### Část II.

ALBERT ARNULF, Paříž.

**Vztah mezi světelností a vněmem.** Předpokládejme nyní, že přístroj má světelnost menší než 1 a sledujme, jak se to projeví ve výkonu. Vlastnosti oka nám poskytnou ještě jednou odpověď na tuto projednanou otázku. Mez rozlišení přístroje o daných charakteristikách se mění tak jako mez rozlišení oka; postačí tedy zhodnotit změnu meze rozlišení oka jako funkci jasů, je-li jas předmětu násoben konstantním faktorem, rovným světelnosti přístroje.<sup>1)</sup>

Obr. 9 představuje změnu meze rozlišení oka jako funkci jasů a to v logaritmických souřadnicích. Dělime jas jistým faktorem; projeví se to posunutím křivky doprava o konstantní délku a rozdíl souřadnic obou křivek nám dá poměr mezi rozlišení oka ve dvou polích různě osvětlených, který je roven poměru mezi rozlišení dvou přístrojů o tomtéž poměru světelností. Přibližná křivka těchto poměrů je zobrazena na obr. 10 pro dva přístroje o poměru světelností 1 : 1,7 (na příklad 0,85

<sup>1)</sup> A. ARNULF, F. FLAMANT, M. FRANÇON, Etude expérimentale de divers instruments de nuit. Influence de la clarté sur les propriétés des instruments de nuit. Réunion d'Opticiens, Paris, Octobre 1946.