

Tabuľka 1

H_e v Oe	B_0 v G	B/B_0					
		0,0 μ *	0,2 l	0,4 l	0,6 l	0,8 l	0,95 l
117,6	14 475	1,00	0,97	0,90	0,75	0,52	0,24
88,2	13 430	1,00	0,97	0,88	0,71	0,49	0,21
58,8	9 847	1,00	0,96	0,87	0,70	0,47	0,21
29,4	5 029	1,00	0,97	0,88	0,72	0,49	0,21
9,8	1 906	1,00	0,98	0,89	0,71	0,47	0,20
0,0	353,3	1,00	0,96	0,86	0,70	0,44	0,17
— 0,38	197,6	1,00	0,94	0,84	0,67	0,43	0,17
— 1,47	119,9	1,00	0,96	0,84	0,63	0,41	0,16
— 1,77	76,0	1,00	0,95	0,80	0,60	0,35	0,10
— 1,96	46,4	1,00	0,88	0,72	0,53	0,29	0,06
— 2,06	21,4	1,00	0,90	0,73	0,48	0,14	— 0,01
— 2,16	7,5	1,00	0,92	0,67	0,22	— 0,21	— 0,65
— 2,27	10,0	1,00	— 1,12	— 1,19	— 1,32	— 1,20	— 0,61
— 2,94	118,2	1,00	— 0,96	— 0,88	— 0,73	— 0,50	— 0,19
— 4,90	423,7	1,00	— 0,96	— 0,87	— 0,72	— 0,48	— 0,19
— 9,80	1 215	1,00	— 0,99	— 0,90	— 0,73	— 0,50	— 0,23
— 29,4	4 353	1,00	— 0,97	— 0,87	— 0,71	— 0,48	— 0,21
— 88,2	8 833	1,00	— 0,97	— 0,88	— 0,71	— 0,49	— 0,22
— 117,6	12 546	1,00	— 0,97	— 0,89	— 0,72	— 0,49	— 0,22
	14 486	1,00	— 0,98	— 0,90	— 0,75	— 0,52	— 0,25

* Dĺžka tyče = 2 l.

Metóda merania

Pri vyšetrovaní magnetických vlastností feromagnetických materiálov sa často stretávame s magnetickými meraniami na tyčových vzorkách. Po zmag-netovaní tyčovej vzorky v homogénnom spojitom sa zväčšujúcom magnetickom poli so smerom spadajúcim do smeru dĺžky tyče sa pri premagnetúvaní vzorky pozdĺž klesajúcej vetvy hystereznej slučky obvykle predpokladá, že pri určitej zápornej hodnote vonkajšieho magnetického pola, ktorá sa stotožňuje s koer-citívnou silou, vzorka sa vyznačuje nulovou hodnotou magnetizácie pozdĺž celej svojej dĺžky. Autori [1] v súvislosti s osvetľovaním zvláštného charakteru hysterezie stredového (balistického) demagnetizačného faktora poukázali na neoprávnenosť uvedeného predpokladu. Účelom tejto práce je podrobne osvetliť charakter procesu premagnetúvania tyčových vzoriek experimenten-tálnym vyšetrovaním rozloženia magnetikkej indukcie, magnetizácie a intenzity magnetického pola pozdĺž tyče v jednotlivých stavoch, odpovedajúcich rôz-nyim miestam klesajúcej vetvy hystereznej slučky.

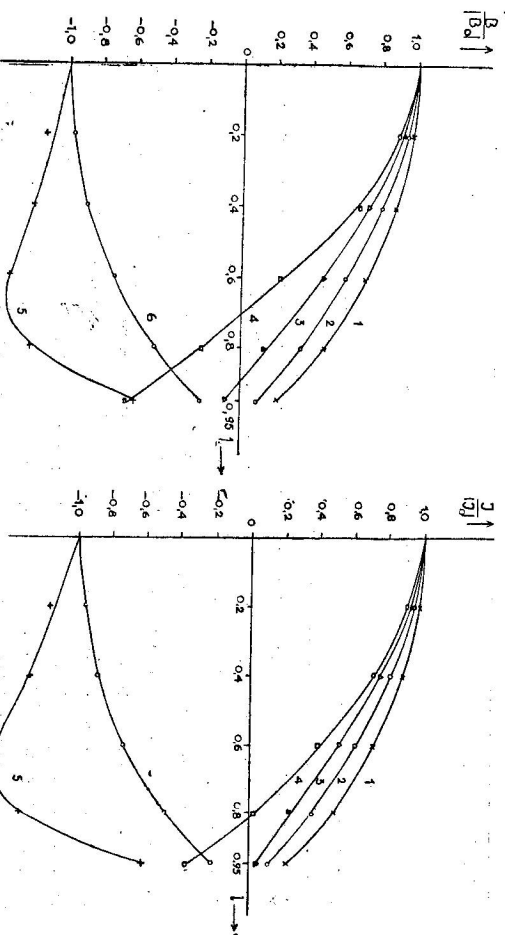
S procesom premagnetúvania tyčových vzoriek do značnej miery súvisí zjav hysterezie demagnetizačného faktora. Hysterezu stredového demagnetizačného faktora objavili a jej priebeh opísali najprv Janus, Drožžina a Šabalina [2], neskôr Lustrava a Lipatova [3], ako aj Matěna [4]. Účelom tejto práce okrem uvedeného je vyšetriť priebeh hysterezie nielen stredového demagnetizačného faktora, ale aj demagnetizačných faktorov pri-slúchajúcich jednotlivým miestam pozdĺž tyče, najmä na konci tyče.

Merania sa robili na ocelevej valcovej tyči o koercitívnej sile $H_e = 2,40$ Oe, o dĺžke 20 cm a priemere 1 cm balistickou metódou, a to strhávaním úzkej cievky z jednotlivých miest pozdĺž tyče pri rôznych magnetických stavoch tyče, odpovedajúcich príslušným bodom klesajúcej vetvy hystereznej slučky. Takýmto spôsobom sa získalo rozloženie magnetikkej indukcie pozdĺž tyče v jednotlivých vyšetrovaných stavoch. Aby bolo možno z nameraných hodnôt indukcie nájsť rozloženie magnetizácie a intenzity magnetického pola pozdĺž tyče v jednotlivých vyšetrovaných stavoch, použili sme na určenie pravej hystereznej slučky materiálu tyče rotačný elipsoid z tohože materiálu, pričom podiel veľkej polosi k malej polosi elipsoidu bol $p = a/b = 20$. Hodnota de-magnetizačného faktora príslúchajúca tomuto elipsoidu je $N = 0,0848$. Z tab. 1 vyjadrujúcej rozloženie magnetikkej indukcie pozdĺž tyče plynie, že toto rozloženie je nehomogénne. Odpovedá teda maximálnej hodnote vonkajšieho magnetického pola H_e v jednotlivých miestach pozdĺž tyče rôzna hodnota magnetikkej indukcie, a to smerom ku koncu tyče vždy menšia. Z toho je zrejmé, že premagnetúvanie v jednotlivých miestach tyče prebieha po hysterezných slučkách s rôznou hodnotou maximálnej indukcie, odpo-vedajúcej vrcholu slučky. Určili sme preto meraniami na elipseide prave hyste-rezne slučky odpovedajúce rôznym hodnotám maximálnej indukcie ako

vrcholu slučky a interpoláciou sme určili pravé hysterézne slučky, po ktorých prebiehal proces premagnetúvania v nami vyšetrovaných miestach pozdĺž tyče. Pomocou týchto slučiek bolo možno z rozloženia magnetikkej indukcie v jednotlivých stavoch ľahko určiť týmto stavom odpovedajúce rozloženia intenzity magnetického poľa a magnetizácie pozdĺž tyče. Zo vzťahu $H = H_e - NJ$ bolo možno určiť aj hodnoty demagnetizačných faktorov v jednotlivých miestach tyče.

Výsledky meraní a ich hodnotenie

Uvedenou metódou získané rozloženia magnetikkej indukcie pozdĺž tyče, odpovedajúce jednotlivým magnetickým stavom tyče pri postupe po klesajúcej vetve hysterézneho slučky, sú uvedené v tab. 1 a sčasti znázornené na obr. 1. Na tomto obraze je graficky vyjadrená závislosť $B//B_0$ od vzdialenosti od stredu tyče, pričom B_0 znamená vo vyšetrovanom magnetickom stave tyče hodnotu indukcie v strede tyče a B hodnotu indukcie v príslušnej vzdialenosti od stredu tyče. Z meraní vyplýva, že rozloženie magnetikkej indukcie pozdĺž tyče je vo všetkých vyšetrovaných stavoch nehomogénne a že pri



Obr. 1.

Krivka	H_e v Oe	B_0 v G
1	88,2	13 430
2	— 1,77	76
3	— 2,06	21,4
4	— 2,16	7,5
5	— 2,27	10,0
6	— 88,2	— 12 546

Obr. 2.

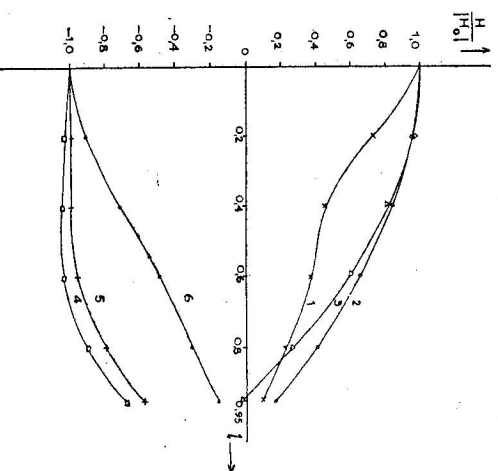
Krivka	H_e v Oe	J_0 v G
1	88,2	1066,0
2	— 1,77	6,2
3	— 2,06	1,9
4	— 2,16	0,8
5	— 2,27	0,6
6	— 88,2	— 996,0

určitej hodnote záporného vonkajšieho poľa prechádza magnetická indukcia nulou do záporných hodnôt najprv na koncoch tyče a až pri ďalšom zvyšovaní hodnôt záporného poľa prechádza magnetická indukcia nulou do záporných hodnôt postupne v ostatných miestach smerom ku stredu tyče, ako to autori už prv zistili na tyži z iného magnetického materiálu [1].

V tab. 2 je vyjadrené a na obr. 2 sčasti znázornené rozloženie magnetizácie pozdĺž tyče, a to v magnetických stavoch, ktorým odpovedajú rozloženia magnetikkej indukcie uvedené v tab. 1. Aj na obr. 2 je znázornená závislosť $J//J_0$, kde J a J_0 majú podobný význam ako B a B_0 na obr. 1. Z tab. 2 a z kriviek na obr. 2 je zrejme, že rozloženie magnetizácie pozdĺž tyče má v jednotlivých vyšetrovaných stavoch podobný charakter ako rozloženie magnetikkej indukcie.

Rozloženie intenzity magnetického poľa H pozdĺž tyče v jednotlivých magnetických stavoch je vyjadrené v tab. 3 a sčasti znázornené na obr. 3. Charakter rozloženia intenzity magnetického poľa pozdĺž tyče, ako vidieť, je do istej miery podobný charakteru rozloženia indukcie a magnetizácie. Aj intenzita magnetického poľa prechádza nulou do záporných hodnôt v jednotlivých miestach tyče postupne počínajúc koncami tyče pri rôznych hodnotách klesajúceho vonkajšieho magnetického poľa. No kým prechod indukcie a magnetizácie nulou do záporných hodnôt v jednotlivých miestach tyče prebieha pri záporných hodnotách vonkajšieho poľa, prechod intenzity magnetického poľa nulou do záporných hodnôt v príslušných miestach tyče prebieha už pri kladných hodnotách vonkajšieho magnetického poľa.

Zo všetkých troch tabuliek a obrázkov vidieť, že v oblasti prechodu príslušnej veličiny (indukcie, magnetizácie, poľa) z kladných hodnôt do záporných je relatívne rozloženie príslušnej veličiny pozdĺž tyče značne odlišné od relatívneho rozloženia tejto veličiny v magnetických stavoch tyče vzdialených od uvedenej oblasti prechodu, t. j. v stavoch, ktorým odpovedajú väčšie hodnoty príslušnej veličiny v jednotlivých miestach tyče.



Obr. 3.

Krivka	H_e v Oe	H_0 v Oe
1	88,2	33,6
2	58,8	8,90
3	29,4	3,35
4	0,0	— 1,95
5	— 2,06	— 2,39
6	— 88,2	— 31,2

Tabuľka 2

H_e v Oe	J_0 v G	$J/ J_0 $					
		0,01*	0,21	0,41	0,61	0,81	0,951
117,6	1146,2	1,00	0,97	0,90	0,75	0,52	0,24
88,2	1065,9	1,00	0,97	0,88	0,71	0,49	0,21
58,8	782,9	1,00	0,96	0,87	0,70	0,47	0,21
29,4	399,9	1,00	0,97	0,88	0,72	0,49	0,21
9,8	151,7	1,00	0,98	0,88	0,71	0,45	0,20
0,0	28,2	1,00	0,96	0,86	0,69	0,44	0,17
-0,98	15,9	1,00	0,94	0,84	0,67	0,43	0,17
-1,47	9,72	1,00	0,96	0,84	0,64	0,41	0,17
-1,77	6,24	1,00	0,95	0,81	0,61	0,36	0,11
-1,96	3,88	1,00	0,88	0,73	0,55	0,31	0,08
-2,06	1,89	1,00	-0,91	0,75	0,52	0,20	0,05
-2,16	0,78	1,00	0,94	0,71	0,40	0,03	-0,36
-2,27	0,60	-1,00	-1,17	-1,27	-1,47	-1,35	-0,62
-2,94	9,20	-1,00	-0,96	-0,88	-0,73	-0,49	-0,18
-4,90	33,5	-1,00	-0,96	-0,87	-0,71	-0,48	-0,19
-9,80	96,4	-1,00	-0,99	-0,90	-0,73	-0,50	-0,22
-29,4	345,7	-1,00	-0,97	-0,87	-0,71	-0,48	-0,21
-59,0	701,6	-1,00	-0,97	-0,88	-0,71	-0,49	-0,22
-88,2	995,9	-1,00	-0,97	-0,89	-0,72	-0,49	-0,22

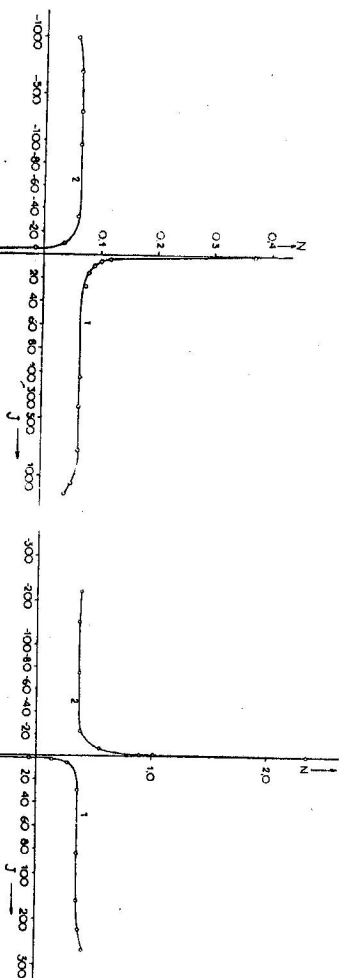
* Dĺžka tyče = 2 l.

Tabuľka 3

H_e v Oe	H_0 v Oe	H/H_0					
		0,01*	0,21	0,41	0,61	0,81	0,951
117,6	71,4	1,00	0,83	0,53	0,28	0,16	0,08
88,2	33,6	1,00	0,71	0,43	0,35	0,21	0,10
58,8	8,90	1,00	0,95	0,84	0,65	0,41	0,17
29,4	3,35	1,00	1,00	0,82	0,61	0,28	-0,02
9,8	0,15	1,00	-1,20	-2,53	-4,73	-6,27	-6,00
0,0	-1,95	-1,00	-1,02	-1,04	-1,03	-0,90	-0,67
-0,98	-2,17	-1,00	-1,01	-1,01	-0,99	-0,84	-0,62
-1,47	-2,27	-1,00	-1,00	-1,00	-0,97	-0,82	-0,60
-1,77	-2,32	-1,00	-1,00	-1,00	-0,97	-0,82	-0,60
-1,96	-2,36	-1,00	-1,00	-1,00	-0,96	-0,80	-0,59
-2,06	-2,39	-1,00	-1,00	-0,99	-0,96	-0,80	-0,58
-2,16	-2,41	-1,00	-1,00	-0,99	-0,95	-0,79	-0,58
-2,27	-2,43	-1,00	-1,00	-0,99	-0,95	-0,77	-0,56
-2,94	-2,56	-1,00	-0,99	-0,98	-0,94	-0,73	-0,51
-4,90	-2,93	-1,00	-0,99	-0,96	-0,91	-0,73	-0,51
-9,80	-3,89	-1,00	-0,99	-0,96	-0,91	-0,73	-0,51
-29,4	-8,4	-1,00	-0,99	-0,95	-0,86	-0,67	-0,45
-59,0	-16,2	-1,00	-0,95	-0,82	-0,70	-0,49	-0,29
-88,2	-31,1	-1,00	-0,91	-0,71	-0,48	-0,31	-0,15

* Dĺžka tyče = 2 l.

Na obr. 4 je znázornená závislosť $N = N(J)$ v strede tyče pri postupe po klesajúcej vetve hysterézy slúčky.¹ Z obrazu je zrejmy charakter hysterézy stredového demagnetizačného faktora, ktorý je typický tým, že pri $J = 0$ je $N = \pm\infty$, t. j. pri prechode magnetizácie nulou doznáva hodnota stredového demagnetizačného faktora skok z $+\infty$ do $-\infty$. Ako výpočty ukázali, podobným priebehom hysterézy vyznačujú sa aj demagnetizačné faktory v miestach mimo stredu, od stredu však nie príliš vzdialených. Naproti tomu je charakter hysterézy demagnetizačného faktora na konci tyče a v miestach



Obr. 4.

Obr. 5.

nie príliš vzdialených od konca tyče práve opačný ako charakter hysterézy stredového demagnetizačného faktora. Na obr. 5 je znázornená závislosť $N = N(J)$ pre miesto vo vzdialenosti 0,95 l od stredu tyče, kde l značí polovicu dĺžky tyče, a to pri postupe po klesajúcej vetve hysterézy slúčky. Vidieť, že pri poklese J z kladných hodnôt k nule hodnota demagnetizačného faktora v uvedenom mieste postupne klesá a pri $J \rightarrow 0$ je $N \rightarrow -\infty$ (vetva 1). Pri prechode magnetizácie nulou doznáva hodnota demagnetizačného faktora v tomto mieste skok z $-\infty$ na $+\infty$ a pri raste záporných hodnôt magnetizácie nadobúda demagnetizačný faktor postupne pôvodnú hodnotu, z ktorej sa pri počiatkovej kladnej hodnote magnetizácie vychádzalo (vetva 2).

¹ Kvôli prehľadnosti sa na obr. 4 a 5 použila na osi J iná mierka pre magnetizácie do 100 abs. j. ako pre väčšie hodnoty magnetizácie.

Зáver

Výšetrenie rozloženia magnetickej indukcie, magnetizácie a intenzity magnetického poľa rozdĺž tyče v jednotlivých magnetických stavoch, odovedaúcich rôznym bodom klesajúcej vetvy hysterézynej slúčky, umožňuje uzatvárať, že sa proces premagnetívania tyčových vzoriek v homogenom postupe klesajúcim a do záporných hodnôt prechádzajúcim vonkajšom magnetickým poli makroskopicky prejavuje takto: Pri určitej hodnote postupne rastúceho záporného poľa objavujú sa na koncoch tyče makroskopické oblasti, ktoré sa vyznačujú opačným smerom magnetizácie ako zvyšujúca stredná časť tyče. Tieto makroskopické oblasti s opačnou magnetizáciou pri zvyšovaní hodnoty záporného vonkajšieho poľa postupne narastajú na úkor oblasti s magnetizáciou rôvnoľného smeru v strede tyče, až pri určitej hodnote záporného vonkajšieho poľa oblasť s magnetizáciou rôvnoľného smeru v strede tyče celkom vymizne a tyč rozdĺž celej svojej dĺžky sa vyznačuje magnetizáciou rovnakého smeru, opačného voči smeru rôvnoľnému.

V tomto osobitnom charaktere procesu premagnetívania tyčových vzoriek zaiste spočívajú aj podstata existencie a zvláštneho charakteru hysterézy demagnetizačného faktora. Ukázalo sa, že charakter hysterézy demagnetizačného faktora v jednotlivých miestach tyče nie je rovnaký. V strede tyče a v miestach od stredu nie príliš vzdialených pri poklese magnetizácie na nulu rastie demagnetizačný faktor do konečného a po prechode magnetizácie nulou doznieva skok z $+\infty$ na $-\infty$. Naproti tomu na konci tyče a v miestach od konca tyče nie príliš vzdialených demagnetizačný faktor pri poklese magnetizácie na nulu klesá a ide k $-\infty$, po prechode magnetizácie nulou do záporných hodnôt doznieva skok z $-\infty$ na $+\infty$. Osobitnú pozornosť si bude vyžadovať výšetrenie vlastností demagnetizačného faktora v miestach tyče, kde dochádza k zmene charakteru hysterézy demagnetizačného faktora z typu znázorneného na obr. 4 na typ znázornený na obr. 5.²

LITERATÚRA

1. Hajko V., Daniel-Szabó J., Čs. čas. fys. 6, 1956, 352. 2. Janus R. J., Drožžina V. J., Šabalina E. F., Sborník posväščený semináriatletu akademika A. I. Ioffe, Moskva 1950, 411. 3. Eustova A. P., Lipatova V. A., ŽTF, 1954, 1513. 4. Matěna V., Čs. čas. fys. 5, 1955, 401.

Došlo 10. 9. 1956.

² Záverom ďakujeme dr. L. Valentovi za plodnú diskusiu k uvedenej problematike, dr. J. Brožovi a dr. J. Štemberkovi za zapožičanie valkovej a elipsoidálnej vzorky, na ktorých sa robili merania, a A. Wintnerovi za pomoc pri meraniach.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ПЕРЕМАНТИЧИВАНИЯ СТЕРЖНЕВЫХ ОБРАЗЦОВ

ВЛАДИМИР ГАЙКО, ЮРИЙ ДАНИЕЛ-САБО

Выводы

В работе освещается характер процесса перемангничивания стержневых образцов экспериментальным исследованием разложения магнитной индукции, намагниченности и напряженности магнитного поля по длине стержня в магнитных состояниях, отвечающих отдельным местам по длине исходной ветви петли гистерезиса. Из результатов измерений, выраженных на таблицах 1, 2, 3, и частично изображенных на рис. 1, 2, 3, можно заключить, что процесс перемангничивания стержневых образцов в однородном, постепенно убывающем и до отрицательных величин переходящем внешнем магнитном поле, макроскопически проявляется следующим образом: при определенной величине, постепенно нарастающего отрицательного поля, появляются на концах стержня макроскопические области, проявляющиеся в обратном направлении намагниченности, чем остальная средняя часть стержня. Эти макроскопические области, с обратной намагниченностью, постепенно при повышении величины отрицательного внешнего поля увеличиваются за счет области с намагниченностью начального направления и в середине стержня и при определенной величине отрицательного внешнего поля, область с намагниченностью начального направления в середине стержня, вполне исчезает, а стержень по всей длине проявляются намагниченностью того же направления, противоположного к первоначальному направлению.

С процессом перемангничивания стержневых образцов, до известной степени связано явление гистерезиса намагничивающего фактора. В работе указывается, что ход гистерезиса намагничивающего фактора, в местах близких к концу стержня (рис. 5), имеет обратный характер чем ход гистерезиса намагничивающего фактора в середине стержня (рис. 4).

ÜBER DEN UMMAGNETISIERUNGSPROZESS DER FERROMAGNETISCHEN STÄBE

VLADIMÍR HAJKO, JURAJ DANIEL-SZABÓ

Zusammenfassung

In der vorliegenden Arbeit wird der Charakter des Ummagnetisierungsprozesses der ferromagnetischen Stäbe durch experimentale Untersuchung der Zerlegung der magnetischen Induktion, Magnetisierung und Intensität des magnetischen Feldes längs des Stabes in den magnetischen Zuständen, die den einzelnen Stellen längs dem absteigenden Ast der Hysteresisschleife zugehören, erläutert. Nach den Ergebnissen der Messungen, die in Tab. 1, 2, 3 angegeben sind und teils auch im Bild 1, 2, 3 dargestellt sind, kann man schließen, daß der Ummagnetisierungsprozeß der ferromagnetischen Stäbe, im homogenen äußeren magnetischen Felde, das nach und nach sinkt und in die negativen Werte übergeht, sich makroskopisch folgendermaßen vollzieht:

Bei dem bestimmten Werte des nach und nach wachsenden negativen Feldes entstehen an den Enden des Stabes makroskopische Bereiche, in denen die Magnetisierung die

entgegengesetzte Richtung hat, als in dem übrigebliebenen mittleren Teile des Stabes. Diese makroskopischen Bereiche mit der entgegengesetzten Magnetisierung bei dem wachsenden äußeren negativen Felde vergrößern sich allmählich zum Nachteile des Bereiches im mittleren Teile des Stabes, in dem die Magnetisierung die ursprüngliche Richtung hat, bis bei einem bestimmten Werte des negativen äußeren Feldes der Bereich mit der Magnetisierung der ursprünglichen Richtung in dem mittleren Teile des Stabes völlig verschwindet und die Richtung der Magnetisierung längs des ganzen Stabes dieselbe Richtung, entgegengesetzt zur ursprünglichen hat.

Mit dem Prozeß der Ummagnetisierung der ferromagnetischen Stäbe hängt in gewissem Maße die Erscheinung der Hysteresis des Entmagnetisierungsfaktors zusammen. In der vorliegenden Arbeit wird gezeigt, daß der Verlauf der Hysteresis des Entmagnetisierungsfaktors an den Stellen nahe dem Stabende eben den entgegengesetzten Charakter hat (Bild 5), als der Verlauf der Hysteresis des Entmagnetisierungsfaktors in der Mitte des Stabes (Bild 4).