

STUDIUM DER HÄUFIGKEIT DER BARKHAUSENSPRÜNGE IM PROZESS DER BILDUNG DES ANHYSTERETISCHEN ZUSTANDES DES FERROMAGNETIKUMS

MÁRIA KOŠTIALOVÁ, Košice

In der vorliegenden Arbeit wird die Geschwindigkeit des Anwachsens der Zahl der Barkhausensprünge bei Magnetisierungsprozessen, die sich im Ferromagnetikum unter Einwirkung des in Abb. 2 dargestellten veränderlichen Feldes realisieren, experimentell untersucht. Dieses veränderliche Feld wird dem konstanten Feld H überlagert und führt zum Schluß zur Entstehung des anhysteretischen Zustandes. Die Meßergebnisse ermöglichen die Schlußfolgerung, daß es im Prozeß der Bildung des anhysteretischen Zustandes in dem Ferromagnetikum zu Veränderungen in der Verteilung der kritischen Felder kommt, die vor allem bei den sich entlang der ansteigenden Äste des angewendeten veränderlichen Feldes realisierenden elementaren Magnetisierungsprozessen auftreten.

EINLEITUNG

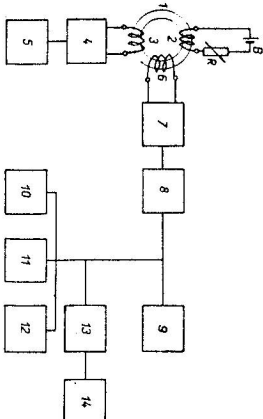
Unter dem anhysteretischen magnetischen Zustand eines Ferromagnetikums verstehen wir, wie bekannt, den Zustand, der in einem bestimmten Feld H nach Überlagerung des magnetischen Wechselfeldes H' von genügend hoher Amplitude und nach kontinuierlicher Herabsetzung dieser Amplitude auf Null, entsteht. Die Menge der so entstandenen, den verschiedenen Werten des konstanten Feldes H entsprechenden magnetischen Zustände, bildet die sog. anhysteretische Magnetisierungskurve. Die bisher veröffentlichten sich mit dieser Problematik befassenden experimentellen Arbeiten enthalten die Meßergebnisse des resultierenden, auf die obenangeführte Weise unter verschiedenen Bedingungen gebildeten anhysteretischen Zustandes (siehe z. B. [1–5]). In der Arbeit [6] bzw. [7] wird die Stabilität des anhysteretischen Zustandes gegen periodische Veränderungen des Magnetfeldes bzw. die aufgelegte mechanische Spannung untersucht. Über den Mechanismus der Bildung des anhysteretischen Zustandes bestehen zur Zeit nur Modellvorstellungen, die aus den theoretischen Arbeiten [8] und [9] folgen. Experimentelle Arbeiten, die irgendwelche Informationen über den erwähnten Mechanismus anführen würden, gibt es unseres Wissens nicht. Wir versuchen daher durch Anwendung

der Methode der Barkhausensprünge einige Informationen über mikrophysikalische Prozesse, die für den Mechanismus der Bildung des anhysteretischen Zustandes verantwortlich sind, zu gewinnen. Diese Meßmethode erlaubt es, nur jene elementaren Magnetisierungsprozesse experimentell zu verfolgen, die zur Entstehung der Barkhausensprünge führen, d. h. die irreversiblen Verschiebungen der Blochwände, und es war der Zweck dieser Arbeit zu untersuchen, wie sich die Zahl der Barkhausensprünge während des Bildungsprozesses des anhysteretischen Zustandes ändert.

MEßMETHODE UND PROBEN

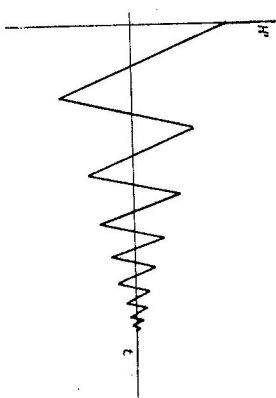
Das Schema der gesamten Meßeinrichtung ist in Abb. 1 dargestellt. An der Probe 1 ist die mit Gleichstrom gespeiste, das stabile Feld H bildende Spule 2 aufgewickelt. Zur Bildung des Wechselfeldes H' diente eine eigene Quelle.

Abb. 1. Blockschaltbild der Meßapparatur.
1 – Probe, 2, 3 – Magnetisierungsspule,
4 – elektronischer Teil, 5 – mechanischer
Teil der Quelle des Magnetisierungsstromes,
6 – Suchspule, 7 – Vorverstärker, 8 –
Verstärker, 9 – Oszilloskop, 10, 11, 12 –
Impulszähler, 13 – Integrator, 14 –
Schreiber.



Diese ist in der Arbeit [10] beschrieben. In Abb. 1 ist ihr elektronischer Teil mit der Nummer 4 und ihr mechanischer Teil mit der Nummer 5 bezeichnet. Diese Quelle ermöglicht die Speisung der Spule 3 mit veränderlichem Strom mit dem Zeitverlauf einer linear anwachsenden bzw. abfallenden Säge, wobei die Amplitude dieses veränderlichen Stromes um einen bestimmten Wert herabsank. Der Wechselstrom sinusartigen Verlaufes wird hier, wie aus Abb. 2

Abb. 2. Zeitlicher Verlauf
des veränderlichen Stromes.



ersichtlich, durch sägezahnförmig verlaufenden Strom ersetzt. Diese Maßnahme wurde aus dem Grunde getroffen, um eine solche Geschwindigkeit der Veränderung des Feldes wählen zu können, die eine Anwendung der Methode der Barkhausensprünge ermöglicht. Bei unseren Messungen betrug $dH/dt = 0,033 \text{ Oe/s}$. Der resultierende magnetische Zustand wurde mit dem anhyt-
teretischen Zustand verglichen, der bei gleichem Feld H durch Anwendung von Wechselstrom aus dem Netz hervorgerufen wurde. Die Messungen der Magnetisierung wurden in diesen resultierenden Zuständen ballistisch durchgeführt und im Rahmen der Genauigkeit der Meßmethode wurden keine Unterschiede festgestellt.

Die durch die Barkhausensprünge in der Suchspule 6 hervorgerufenen Impulse wurden über den Vorverstärker 7 auf den Verstärker 8 (mit einem Gesamtgewinn von 120 dB), auf die Impulzzähler 10, 11, 12, die auf verschiedene Diskriminationsebenen eingestellt waren, geleitet. Von dem Ausgang 8 wurden die Impulse gleichzeitig auf das Oszilloskop 9 und auf den mit dem Schreiber 14 verbundenen Integrator 13 geführt. Der Schreiber registrierte die Veränderungen in der Geschwindigkeit des Anwachsens der Zahl der Sprünge dN/dH in Abhängigkeit von dem aufgelegten Feld während jedes Zyklus des veränderlichen Feldes $H + H'$ (H ist das konstante, H' das veränderliche Feld).

Die Apparatur ermöglichte bei maximaler Empfindlichkeit die Registrierung der Barkhausensprünge, die einer Veränderung des magnetischen Momentes von mehr als $8 \cdot 10^{-8}$ Einheiten gegen entsprechen.

Die Messungen wurden an ringförmigen polykristallinen Proben PY 45 und Fe-Si (mit 4 % Si-Gehalt) mit Dimensionen von $d_1 = 26,5 \text{ mm}$, $d_2 = 21 \text{ mm}$ und $h = 0,35 \text{ mm}$ durchgeführt. Vor der Messung wurden die Proben für 6 Stun-

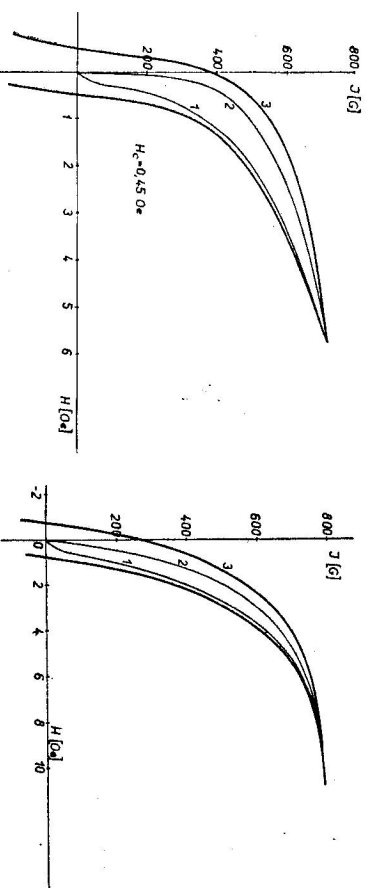


Abb. 3. Magnetisierungskurven der Proben. 1 — Neukurve, 2 — anhysteretische Kurve, 3 — Hystereseschleife. a — für PY 45, b — für Fe-Si.

den einer Wärmebehandlung in der Wasserstoffatmosphäre bei 1050°C unterzogen. Aus der Abb. 3a für PY 45 und 3b für Fe-Si sind die grundlegenden magnetischen Parameter der Proben ersichtlich; in diesen Abbildungen sind auch die anhysteretischen Magnetisierungskurven der verwendeten Proben graphisch dargestellt.

AUSWERTUNG DER EXPERIMENTELLEN ERGEBNISSE

Die Messung der Abhängigkeit dN/dH wurde bei den angewendeten Proben entlang jedes abfallenden und ansteigenden Astes des veränderlichen Feldes $H + H'$ durchgeführt. Die Abb. 4 illustriert den Verlauf dieser Abhängigkeit entlang eines ansteigenden Astes von dem negativen Grenzwert des veränderlichen Feldes H' an bis zu dem positiven Grenzwert dieses Feldes. Die entlang des abfallenden Astes des veränderlichen Feldes erhaltenen Abhängigkeiten haben einen analogen Verlauf. Im Prozeß der Bildung des anhysteretischen Zustandes sinken die Grenzwerte $+H'$ und $-H'$ allmählich auf Null. Infolgedessen werden die einzelnen Äste des veränderlichen Feldes nach und nach kürzer. Die die Geschwindigkeit des zahlenmäßigen Anwachsens der Barkhausensprünge ausdrückenden Kurven haben jedoch immer den gleichen qualitativen Verlauf, d. h. sie weisen immer zwei Maxima auf. Die Felder H_1 und H_2 , denen diese Maxima angehören, erfüllen die Ungleichheit $H_1 < H_c < H_2$. Es ist dabei bemerkenswert, daß die erwähnten Maxima der die Abhän-

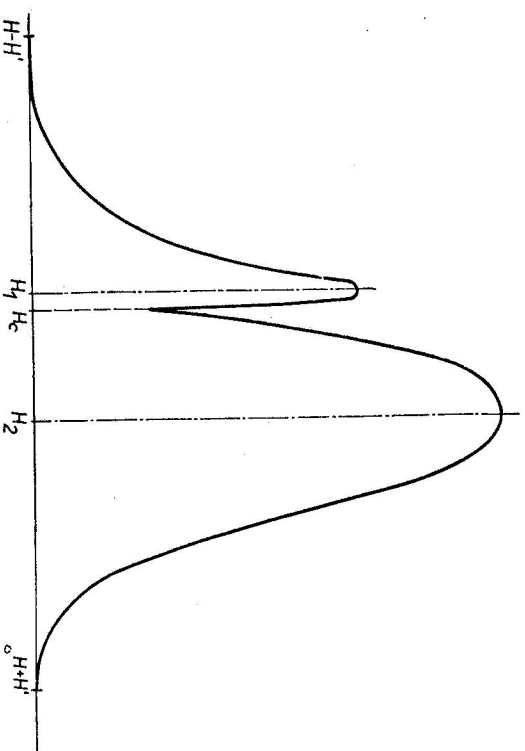


Abb. 4. Verlauf der Abhängigkeit dN/dH vom Feld $H + H'$ entlang des ansteigenden Astes des veränderlichen Feldes.

gigkeit entlang der abfallenden Äste des veränderlichen Feldes, d. h. von $+H'$ bis $-H'$, darstellenden Kurven immer bei den gleichen Werten der Felder

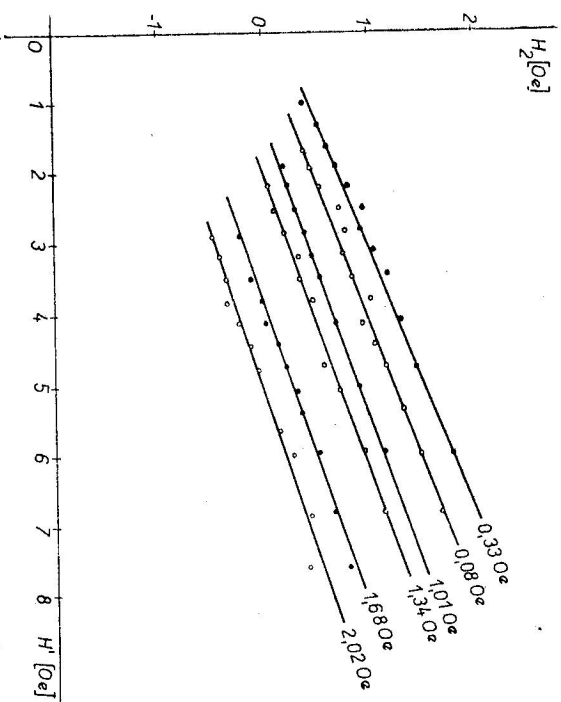
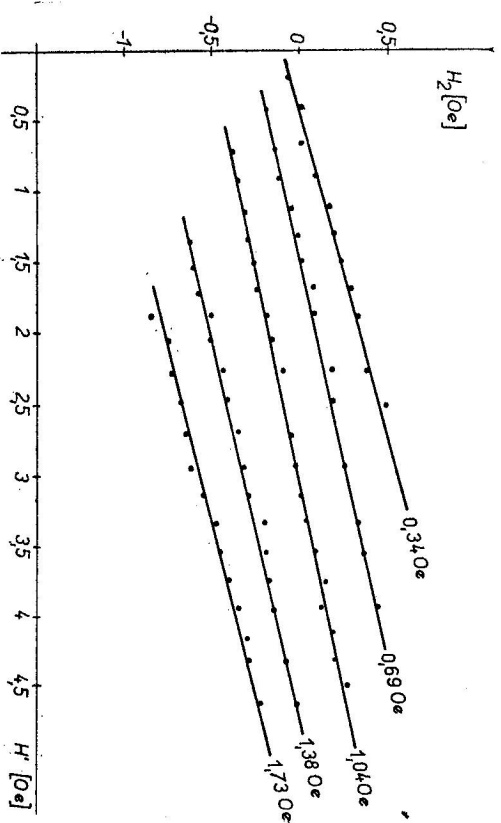


Abb. 5. Abhängigkeit der Lage des Maximums H_2 für die einzelnen Grenzwerte des veränderlichen Feldes H' bei verschiedenen Werten des konstanten Feldes H . a — für die Probe PY 45, b — für die Probe Fe-Si.

H_1 und H_2 liegen. Demgegenüber bei den Kurven, die die untersuchten Abhängigkeiten entlang der ansteigenden Äste des veränderlichen Feldes, d. h. von $-H'$ bis $+H'$, ausdrücken, verschiebt sich das dem absoluten Maximum der Kurven zugehörige Feld H_2 im Prozeß der Bildung des anhysteretischen Zustandes allmählich in der Richtung zur koerziativen Kraft H_c . Das Feld H_1 bleibt konstant. Aus Abb. 5 ist der quantitative Verlauf der Veränderung des Feldes H_2 von den zu den einzelnen ansteigenden Ästen gehörigen Grenzwerten des veränderlichen Feldes H' ersichtlich. Die Abb. 5a illustriert die betreffende Abhängigkeit für PY 45, die Abb. 5b wiederum die Abhängigkeit für die Probe Fe-Si. Bei beiden Proben wurden diese bei verschiedenen Werten des konstanten Feldes H verfolgt. Wie ersichtlich, ist der Charakter dieser Abhängigkeiten in beiden Proben gleich.

Die irreversiblen Verschiebungen der Blochwände werden bei den Feldern realisiert, die den sog. kritischen Feldern der betreffenden Blochwände entsprechen. Die Verteilung der kritischen Felder in dem Ferromagnetikum ist statistischen Charakters und kann durch bestimmte experimentelle Methoden bestimmt werden. Da die einzelnen Barkhausensprünge von einer kleineren oder größeren Anzahl irreversibler Verschiebungen der Blochwände repräsentiert werden, die praktisch bei gleichem äußeren Magnetfeld vor sich gehen, können die in Abb. 4 dargestellten Abhängigkeiten mit der Verteilung der kritischen Felder der untersuchten Proben in Zusammenhang gebracht werden. Die allmähliche Veränderung des Feldes H_2 im Prozeß der Bildung des anhysteretischen Zustandes, wie dies in Abb. 5 dargestellt ist, führt zu der Annahme, daß dieser Prozeß mit bestimmten Veränderungen in der Verteilung der kritischen Felder in dem Ferromagnetikum zusammenhängt. Auf Grund der von uns erhaltenen Meßergebnisse scheint es, daß diese Veränderungen in der Verteilung der kritischen Felder vor allem bei den elementaren Magnetisierungsprozessen auftreten, die entlang der ansteigenden Äste des zur Bildung des anhysteretischen Zustandes dienenden veränderlichen Feldes H' realisiert werden.

Aus der in Abb. 4 dargestellten Abhängigkeit und ihr ähnlichen kann man keine Schlüsse darüber ziehen, bei welchem Feld sich die größte Veränderung der Magnetisierung, die auf eine Einheitsveränderung des Feldes zufällt, vollzieht. Um solche Schlüsse machen zu können ist es notwendig nicht nur die Zahl der auf eine Einheitsveränderung des Feldes fallenden Barkhausensprünge, sondern auch ihre Größe zu kennen. Es ist daher erforderlich Messungen von Abhängigkeiten solcher Art wie die in Abb. 4 dargestellten durchzuführen, und zwar bei verschiedenen Empfindlichkeitswerten der Barkhausensprünge registrierenden Apparatur. Aus den so erhaltenen Kurven ist dann die Amplitudenverteilung der Barkhausensprünge bei den einzelnen Werten des veränderlichen Feldes entlang jedes seiner ansteigenden und

abfallenden Astes zu bestimmen. Die sehr zeitraubenden Messungen werden z. Z. durchgeführt und werden zu einem späteren Zeitpunkt in einem weiteren Artikel veröffentlicht werden.*

SCHRIFTTUM

- [1] Steinhaus W., Gumlich E., Verh. Deutsch. Phys. Ges. 15 (1915), 369.
- [2] Черникова Л. А., ЖЭТФ 21 (1951), 514.
- [3] Kornetzki M., Z. Angew. Phys. 13 (1961), 28.
- [4] Henkel O., Phys. Stat. Sol. 7 (1964), 81.
- [5] Uher L., Czech. J. Phys. B 14 (1964), 280.
- [6] Daniel-Szabó J., Hajko V., Gengnagel H., Phys. Stat. Sol. 9 (1965), 201.
- [7] Hajko V., Potocký L., Fyz. čas. SAV 19 (1969), 52.
- [8] Néel L., Can. Phys. 17 (1943), 47.
- [9] Wohlfarth E. P., J. Appl. Phys. 35 (1964), 783.
- [10] Zentko A., Hajko V., Czech. J. Phys. B 18 (1968), 1026.

Eingegangen am 16. 12. 1968

*Ústava experimentální fyziky SAV,
Košice*

* Es sei an dieser Stelle Herrn Prof. V. Hajko und Herrn Dipl. — Ing. A. Zentko für wertvolle Ratschläge und Anregungen sowie Herrn Z. Kubányi für seine Hilfe bei der Durchführung der Messungen herzlichst gedankt.