

ZDELENIA

ZUR FRAGE DER STABILITÄT
DES ANHYSTERETISCHEN ZUSTANDES

VLADIMÍR HAJKO, LADISLAV POTOCKÝ, Košice

Unter dem anhysteretischen Zustand eines Ferrromagnetikums bei einem bestimmten Wert des einwirkenden magnetischen Feldes H verstehen wir den Zustand, den wir in der Regel so erhalten, daß wir dem konstanten Feld H ein magnetisches Wechselfeld mit großer Amplitude (mehrfach größer als die Koerzitivkraft des Ferrromagnetikums) überlagern und dieses allmählich und kontinuierlich auf Null reduzieren. Der so entstandene magnetische Zustand wird deshalb als anhysteretisch bezeichnet, weil der oben erwähnte Mechanismus bei demselben Wert des Feldes H immer einen makroskopisch identischen Zustand bewirkt, d. h. einen Zustand mit einem immer gleichen Magnetisierungswert, ohne Rücksicht auf den Anfangszustand aus dem er hervorgeht.

Der Entstehungsmechanismus des anhysteretischen Zustandes vom Standpunkt der in diesem Mechanismus auftretenden mikrophysikalischen Prozesse ist bisher noch nicht klar und wurde auch bisher noch keinem experimentellen Studium unterzogen. Einen gewissen Schritt vorwärts bedeutet in dieser Hinsicht die Arbeit [1], in der die Methode der Barkhausen-Sprünge zum experimentellen Studium des Entstehungsmechanismus der anhysteretischen Magnetisierung angewendet wurde. Im allgemeinen wird über den anhysteretischen Zustand angenommen, daß dies ein Zustand mit minimalen freien Energiewert ist. In der Arbeit [2] wird die Glaubhaftigkeit dieser Voraussetzung für den Fall eines ellipsoidförmigen Ferrromagnetikums bewiesen. In der angeführten Arbeit kommt der Autor zu dem Schluß, daß der makroskopisch gemessene Magnetisierungswert des anhysteretischen Zustandes nicht von seiner Entstehungstemperatur abhängig ist. Der Autor verifiziert experimentell seine theoretischen Schlüsse an zwei aus verschiedenartigen Ferrromagneten bestehenden ellipsoidförmigen Proben und findet gute Übereinstimmung. Auf Grund der Ergebnisse dieser Arbeit kann die Annahme ausgesprochen werden, die bisher zwar von niemandem experimentell bestätigt wurde, die jedoch logisch scheint, daß nämlich der beim konstanten Feld H

durch den erwähnten Mechanismus bewirkte anhysteretische Zustand gegen zufällige oder künstlich hervorgerufene Temperaturveränderungen des Ferrromagnetikums sowie gegen einmalige oder auch periodisch sich wiederholende Temperaturveränderungen stabil ist.

Was die nähere Kenntnis der makroskopisch beobachteten Eigenschaften des anhysteretischen Zustandes anbelangt, so sind auch die experimentellen Ergebnisse der Arbeit [3] interessant. Diese studiert den Einfluß der nach einanderfolgenden unsymmetrischen Ummagnetisierung zwischen den Feldern $H_B = 0$ und $H_A = H$ auf den magnetischen Zustand des Ferrromagnetikums in den Endpunkten der so gebildeten unsymmetrischen Hystereseschleife und das besonders in Abhängigkeit vom magnetischen Anfangszustand, aus dem bei der allmählichen unsymmetrischen Ummagnetisierung herausgegangen wird. Die betreffenden Messungen werden an vier verschiedenen ringförmigen Ferrromagneten durchgeführt. Die experimentellen Ergebnisse zeigen, daß bei dem gewählten Feld $H_A = H$ im Intervall der möglichen Anfangszustände ein bestimmter Bereich existiert (für manche Ferrromagneten größer, für andere kleiner), aus welchem wenn man bei der unsymmetrischen Ummagnetisierung hervorgeht, in den Endpunkten der unsymmetrischen Schleife bestimmte Veränderungen der Magnetisierung, falls sie überhaupt existieren, nur in den ersten drei nacheinanderfolgenden Schleifen beobachtet werden. Anschließend sind die magnetischen Zustände in den Endpunkten der Schleife gegen Prozesse ähnlicher Art stabil. Den die beschriebenen Eigenschaften aufweisenden Bereich der Anfangszustände bezeichneten die Autoren der Arbeit [3] als Stabilitätsbereich. Bei allen vier untersuchten Ferrromagneten fiel der beim Feld $H_a = H$ entstandene anhysteretische Zustand immer in diesen Stabilitätsbereich.

Ferner kann für uns die Frage des Verhaltens des anhysteretischen Zustandes gegen mechanische Belastung von Interesse sein. Theoretisch befaßt sich mit dieser Frage die Arbeit [4]. Aus den in dieser Arbeit unter bestimmten vereinfachten Voraussetzungen auf einem monokristallinen Ferrromagnetikum mit Störungen des Types nichtmagnetischer Inklusionen und nicht homogen verteilter Innenspannungen durchgeführten Erwägungen folgt, daß von den magnetischen Zuständen, durch welche sich das Ferrromagnetikum beim Feld H auszeichnen kann, der anhysteretische Zustand gegen die Spannungsveränderungen im Ferrromagnetikum, insofern es sich um irreversible Magnetisierungsprozesse handelt, der stabilste ist. Bisher wurde diese Problematik experimentell noch keinem systematischen Studium unterzogen. Eine kurze Erwähnung in der Arbeit [5] spricht darüber, daß bei einer periodisch realisierten Be- und Entlastung des im anhysteretischen Zustand befindlichen Ferrromagnetikums eine bestimmte geringe Veränderung der Magnetisierung nur bei dem ersten Zyklus dieses Prozesses beobachtet wurde, bei den weiteren

Zyklen dieses Prozesses änderte sich die Magnetisierung nicht mehr. Zweck unseres kurzen Beitrages ist es unsere experimentellen Ergebnisse über das Verhalten des Ferrromagnetikums in den verschiedenen Anfangsstadien — einschließlich des anhystreretischen Zustandes — die dem gegebenen Feld H bei periodisch durchgeführter Be- und Entlastung im Bereich der elastischen Deformation eigen sind, bekannt zu geben.

Die Messungen wurden an Fe-Drahtproben (Länge 344 mm, Durchmesser 1,5 mm, $H_c = 2,8$ Oe) durchgeführt, die vor der Messung einer geeigneten Wärmebehandlung in Wasserstoffatmosphäre unterzogen wurden. Zur Bestimmung des untersuchten magnetischen Zustandes in der Mitte der Probe wurde die ballistische Methode angewendet. Die Ergebnisse der Messungen sind in Abb. 1 und Abb. 2 angeführt. Für jeden der drei verschiedenen Werte des Feldes H wurde eine Serie von Anfangszuständen gewählt (die Art, wie diese Anfangszustände mit Ausnahme des anhystreretischen Zustandes zustande kamen ist aus Abb. 2b ersichtlich), einschließlich des anhystreretischen Zustandes J_x ; und die sich in diesem Anfangszustand befindliche Probe wurde einem Zyklus von 20 nacheinanderfolgenden Be- und Entlastungen mit

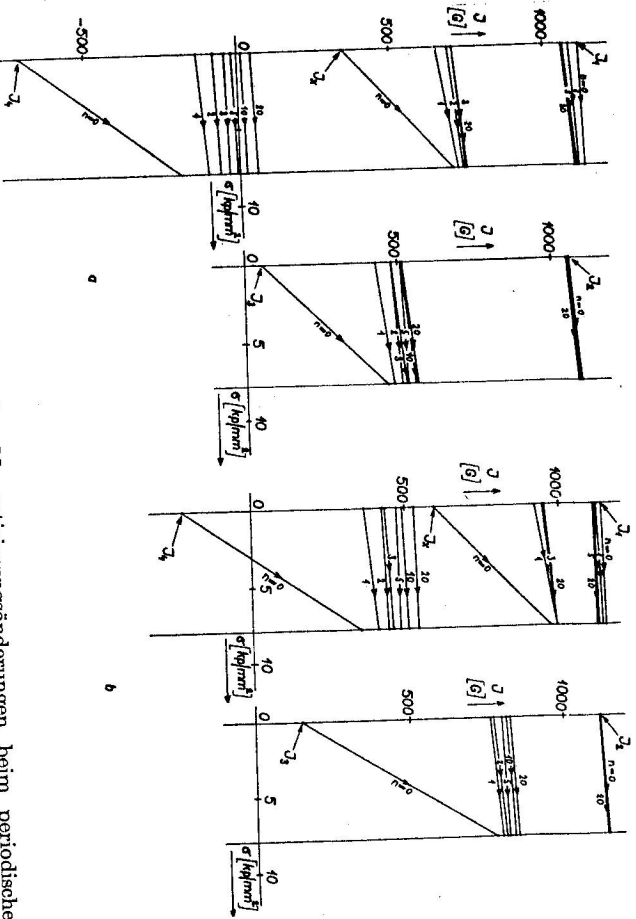


Abb. 1. Graphische Darstellung der Magnetisierungsänderungen beim periodischen Auflegen und Abnahme der Spannung $\sigma = 7,92$ Kp/mm².
a) $H = 1,36$ Oe; b) $H = 2,27$ Oe.

derselben Spannung σ unterzogen (diese Spannung ist im Vergleich mit der Elastizitätsgrenze des Ferrromagnetikums ziemlich gering). Aus Abb. 1 und Abb. 2 ist ersichtlich, wie sich die Magnetisierung der Probe nach den einzelnen Zyklen bei aufgelegter bzw. abgenommener Spannung änderte. Es ist ersichtlich, daß im Falle mancher Anfangszustände die periodisch aufgelegte und abgenommene Spannung sehr markante Veränderungen der Magnetisierung hervorruft, die bei dem ersten Zyklus praktisch vollkommen irreversibel sind. Auch der anhystreretische Zustand J_x ist auf den ersten Zyklus dieses Prozesses sehr empfindlich, man beobachtet dabei eine relativ grobe irreversible Änderung der Magnetisierung. Bei den weiteren Zyklen ist die Änderung der Magnetisierung schon sehr klein und man kann den so entstandenen Zustand bereits als stabil betrachten. Man sieht also, daß das Verhalten beim Ferrromagnetikum im anhystreretischen Zustand als Anfangszustand beim periodischen Auflegen und Abnahme der Spannung ähnlich ist, wie bei der unsymmetrischen Urmagnetisierung. Es ist aber sehr interessant, daß beim Feld H solche magnetische Zustände existieren, die wesentlich größere Stabilität als der anhystreretische Zustand beim periodischen Auflegen und

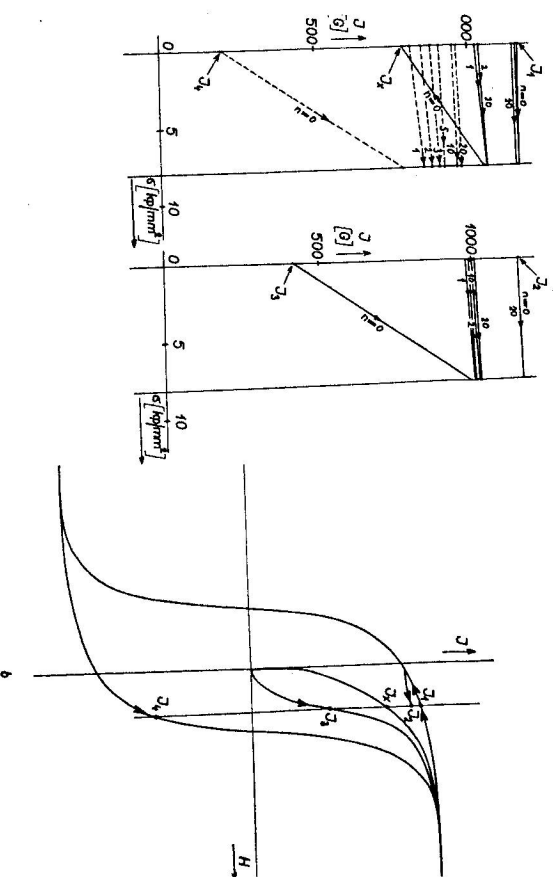


Abb. 2. a) Graphische Darstellung der Magnetisierungsänderungen beim periodischen Auflegen und Abnahme der Spannung $\sigma = 7,92$ Kp/mm², $H = 3,18$ Oe.
b) Schematische Darstellung des Entstehens einzelner Anfangszustände (J_x — der anhystreretische Zustand).

Abnahme der Spannung zeigen. In allen drei Fällen der Felder, die in Abb. 1a, b und Abb. 2a dargestellt sind, sind diese Zustände mit J_2 bezeichnet. Wenn sich die Probe in diesen Zuständen befindet, beobachtet man beim periodischen Auflegen und Abnahme der Spannung praktisch keine irreversiblen Änderungen der Magnetisierung; es geht hier nur um sehr geringe reversible Änderungen. Unsere Messungen auf der gewählten Probe bestätigen also die theoretischen Ergebnisse der Arbeit [4] nicht.

Die Be- und Entlastung des Ferrromagnetikums durch äußere mechanische Spannung beeinflußt zweifelloß in bedeutendem Maße den Charakter der Verteilung der inneren Spannungen im Ferrromagnetikum. Dies führt wiederum zu Veränderungen in der Raumverteilung der Energie der Blochwände; zu Veränderungen der Lagen der einzelnen Energieminima, womit die betreffenden Veränderungen der Konfigurationen der Bereichsstruktur und auch die makroskopisch beobachteten Veränderungen der Magnetisierung zusammenhängen. Aus den in Abb. 1 und Abb. 2a wiedergegebenen Meßergebnissen kann man schließen, daß in der Mehrzahl der Fälle der dem magnetischen Feld H angehörigen magnetischen Zustände (einschließlich des anhystreretischen Zustandes), das periodische Auflegen und Abnahme der mechanischen Spannung (insbesondere der erste Zyklus) zu sehr markanten und irreversiblen Veränderungen der Lage der einzelnen Energieminima der Blochwände führt. Gleichzeitig kann man jedoch aus den in Abb. 1 und Abb. 2a wiedergegebenen Ergebnissen schließen, daß durch das periodische Auflegen und Abnahme der mechanischen Spannung im Bereich der elastischen Deformation der Probe die Lagen jener Energieminima praktisch nicht beeinflußt werden, in denen bzw. in deren Nähe sich bei dem Anfangszustand J_2 die Blochwände befinden.

SCHRIFTTUM

- [1] Košťálová M., Dissertation. Naturwissenschaftliche Fakultät der Šafárik Universität, Košice 1968.
- [2] Uher L., Czech. J. Phys. B 14 (1964), 280.
- [3] Daniel-Szabó J., Hajko V., Gengnagel H., Phys. stat. sol. 8 (1965), 201.
- [4] Кондоpский Е. И., ЖЭТФ 37 (1959), 1110.
- [5] Liboutry L., *Lamination des aciers dans les champs magnetiques faibles: effets du temps, des tensions, des chocs, des champs magnetiques transversaux*. Masson et Cie, Paris 1950.

Empfangen am 9. 10. 1968

Fyzikálny ústav SAV,
vedecké oddelenie Košice.