

# Magnetische Widerstandsänderung von kornorientierten Magnetblechen

G. Nentwich und H. Hofmann

Z. Naturforsch. **33a**, 684—686 (1978); eingegangen am 23. März 1978

## *Magnetoresistance of grainoriented magnetic steel sheet*

The resistance-tensor has been measured on iron sheets with Goss-structure. The results are compared with measurements of magnetisation and magnetostriction.

### 1. Einleitung

Bei der Beurteilung kornorientierter Bleche interessiert neuerdings neben den rein magnetischen Eigenschaften (Magnetisierung bzw. Permeabilitätsmatrizen, Magnetostriktion) auch das Verhalten des spezifischen elektrischen Widerstandes. Messungen von Dittrich und Hofmann [1] ergaben eine unerwartet hohe Widerstandsanisotropie. In der vorliegenden Arbeit sollte überprüft werden, wie weit diese Meßergebnisse für eine Blechsorte repräsentativ sind oder nur als für eine einzelne Probe charakteristisch anzusehen wären. Darüber hinaus sollte die Widerstandsänderung im Magnetfeld untersucht werden. Als Probenmaterial diente ein handelsübliches Elektroblech der Sorte ARMCO M6X (0,35 mm) mit Großtextur.

### 2. Meßmethode

Die Messung des Widerstandes parallel und senkrecht zur Walzrichtung des Bleches erfolgte mit Hilfe der Vierspitzenmethode nach van der Pauw [2]. Schwierigkeiten waren in zwei Richtungen zu überwinden. Der Abstand der Sondenspitzen sollte zur Vermeidung von Randstörungen, da die Blechstreifen nur 3 cm breit sind, möglichst klein sein, andererseits sollte eine Mittelung über mehrere Kristallite des Bleches erfolgen, die etwa 1 mm groß waren.

Endgültig wurde ein Spitzenabstand von 5 mm gewählt, wobei Vergleichsmessungen zeigten, daß beim Verändern der Meßfläche keine Änderung der Meßergebnisse mehr festzustellen war.

### 3. Magnetisierungseinrichtung

Zur Magnetisierung der Proben wurde ein spezielles Magnetisierungsjoch entworfen. Es be-

steht aus zwei U-Schenkeln, zwischen denen drei Blechstreifen aus dem zu untersuchenden Magnetblech liegen (Abbildung 1). Der Vorteil dieser An-

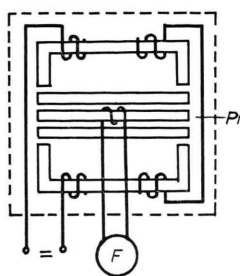


Abb. 1. Schematische Darstellung des Magnetisierungsjochs Pr ... Probestreifen.

ordnung ist die freie Zugänglichkeit des Probestreifens während der Messung, überdies die vollkommen kräftefreie Auflage, so daß an den gleichen Proben auch Magnetostruktionsuntersuchungen durchgeführt werden können.

### 4. Meßvorgang

Der vorschriftsmäßig thermisch vorbehandelte Blechstreifen wird durch Abätzen von seiner Isolierschicht befreit und in die Meßanordnung eingelegt. Dann wird durch ein Wechselfeld entmagnetisiert. Anschließend werden die Meßwerte in Stufen bis zu einer Induktion von etwa 2 T aufgenommen. Die Messung des spezifischen Widerstandes erfolgt nach der von Wasscher modifizierten van-der-Pauw-Methode [3]. Dabei wird eine quadratische Anordnung der Meßkontakte verwendet. Um den spezifischen Widerstand  $\varrho_1$  und  $\varrho_2$  in den Achsenrichtungen des Quadrates zu bestimmen, benützt man einmal zwei Kontakte einer Quadratseite als Stromzuführung und mißt die Spannung an den anderen beiden Kontakten, daraufhin verdreht man die Anordnung um  $90^\circ$  und mißt nochmals. Zur Vermeidung von Meßungenauigkeiten

Sonderdruckanforderungen an: Dr. G. Nentwich, Institut für Grundlagen und Theorie der Elektrotechnik, Technische Universität Wien, Gußhausstraße 27, A-1040 Wien.



Dieses Werk wurde im Jahr 2013 vom Verlag Zeitschrift für Naturforschung in Zusammenarbeit mit der Max-Planck-Gesellschaft zur Förderung der Wissenschaften e.V. digitalisiert und unter folgender Lizenz veröffentlicht: Creative Commons Namensnennung-Keine Bearbeitung 3.0 Deutschland Lizenz.

Zum 01.01.2015 ist eine Anpassung der Lizenzbedingungen (Entfall der Creative Commons Lizenzbedingung „Keine Bearbeitung“) beabsichtigt, um eine Nachnutzung auch im Rahmen zukünftiger wissenschaftlicher Nutzungsformen zu ermöglichen.

This work has been digitalized and published in 2013 by Verlag Zeitschrift für Naturforschung in cooperation with the Max Planck Society for the Advancement of Science under a Creative Commons Attribution-NoDerivs 3.0 Germany License.

On 01.01.2015 it is planned to change the License Conditions (the removal of the Creative Commons License condition "no derivative works"). This is to allow reuse in the area of future scientific usage.

infolge von Geometriefehlern wurde der Meßkopf nicht nur verdreht sondern es wurden zusätzlich Messungen mit entsprechend verschiedenen geschalteten Spitzen durchgeführt. Die so erhaltenen Meßergebnisse wurden sinngemäß gemittelt. Für den Quotient der Spannung bei beiden Messungen gilt

$$\frac{U_{34}}{U_{42}} = \frac{\ln(1 + \varrho_1/\varrho_2)}{\ln(1 + \varrho_2/\varrho_1)} \quad (1)$$

und für eine Spannung

$$U_{34} = \varrho_2 \frac{I}{2\pi d} \sqrt{\frac{\varrho_1}{\varrho_2}} \ln\left(1 + \frac{\varrho_1}{\varrho_2}\right) \quad (2)$$

wobei  $d$  der Abstand der Spitzen und  $I$  die Stromstärke durch die Spitzen 1 und 2 ist.

## 5. Meßergebnisse

Zunächst ist zu bemerken, daß die mit der Vier-spitzenmethode erhaltenen Meßergebnisse für den spezifischen Widerstand etwas höher liegen als Messungen des Widerstandes nach der einfachen Strom- und Spannungsmethode am ganzen Blechstreifen [4]. Die Ursache dafür dürfte vor allen Dingen in jenem Fehler liegen, der auf die Annahme einer unendlich dünnen Materialdicke zurückzuführen ist, die bei der Ableitung der Gln. (1) und (2) vorausgesetzt wurde. Allerdings konnten die relativ hohen Werte der Anisotropie, wie sie früher von Dittrich und Hofmann [1] gefunden wurden, weder bei einer Einzelprobe noch demgemäß im Mittelwert über mehrere Probestreifen bestätigt werden. Die Untersuchung des spezifischen Widerstandes in Walzrichtung  $\varrho_1$  und normal zur Walzrichtung  $\varrho_2$  zeigt, daß  $\varrho_1$  stets größer ist als  $\varrho_2$ . Beträge von Messungen in anderer Richtung liegen immer zwischen diesen Werten, so daß diese beiden Richtungen als die Richtungen des Maximums bzw. Minimums zu bezeichnen sind. Abbildung 2 zeigt die Meßergebnisse einer Probe in Richtung von  $0^\circ$ ,

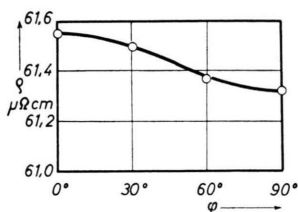


Abb. 2. Spezifischer Widerstand eines Magnetbleches in Abhängigkeit von der Meßrichtung.

$30^\circ$ ,  $60^\circ$  und  $90^\circ$  zur Walzrichtung. Man erkennt, daß die gemessene Winkelabhängigkeit des spezifischen Widerstandes mit der durch die Endpunkte bei  $0^\circ$  und  $90^\circ$  gelegten Kurve für die theoretische Winkelabhängigkeit

$$\varrho_\varphi = \varrho_1 \cos^2 \varphi + \varrho_2 \sin^2 \varphi$$

gut übereinstimmt.

Die Messungen im Magnetfeld erweisen eine allgemeine Abhängigkeit des Widerstandes von der Induktion. Die Abnahme des Widerstandes mit steigender Induktion  $B$  ist für  $\varrho_1$  etwas größer als für  $\varrho_2$ . Abbildung 3 zeigt diese Abhängigkeit für

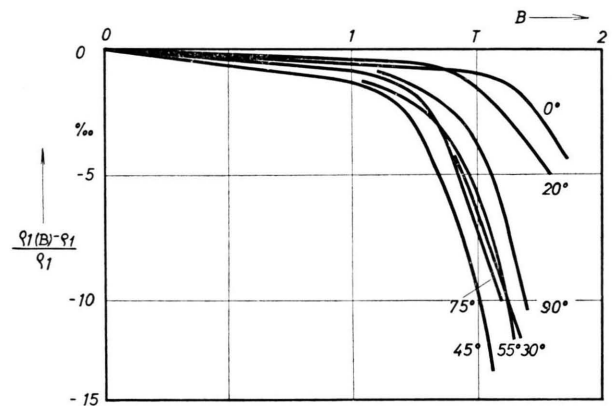


Abb. 3. Änderung des spezifischen Widerstandes in Walzrichtung bei Magnetisierung unter verschiedenen Winkeln.

den Widerstand  $\varrho_1$  in Walzrichtung [ $\varrho_1(B)$  spezifischer Widerstand im Magnetfeld,  $\varrho_1$  spezifischer Widerstand ohne Magnetfeld]. Die Form der Kurven von  $\varrho_2$ , dem spezifischen Widerstand senkrecht zur Walzrichtung, ist analog. Es fällt auf, daß

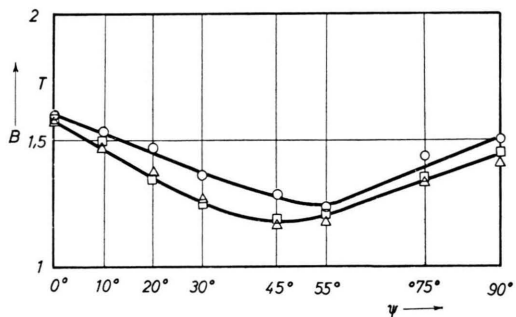


Abb. 4. Zusammenhang zwischen Magnetisierung, Magnetostriktion und Widerstandsänderung. □ ... Maximale Krümmung der  $B/H$ -Kurve, △ ... Knickpunkt der  $\varrho_1$ -Kurve, ○ ... Umkehrpunkt der Magnetostriktion.

der Widerstand in Walzrichtung bei Magnetisierung zwischen  $45^\circ$  und  $55^\circ$  zur Walzrichtung die größte Abhängigkeit von der Induktion zeigt, was offensichtlich mit der Tatsache zusammenhängt, daß es sich beim untersuchten Material um Blech mit Großtextur handelt. Hier bedeutet die Richtung von  $55^\circ$  zur Walzrichtung die Richtung der Raumdiagonale der kubischen Kristalle ([111]-Richtung), also die „schwere“ Magnetisierungsrichtung [5]. So wie bei den Magnetostriktionskurven [6] kann

auch hier bei den Widerstandskurven wieder ein Zusammenhang mit den Magnetisierungslinien festgestellt werden: Der Knick in den Kurven der Widerstandsänderung fällt — so wie der Umkehrpunkt bei den Magnetostriktionskurven — mit der maximalen Krümmung der Magnetisierungslinien ziemlich genau zusammen (Abbildung 4). Daß diese Stelle den Übergang von den Wandverschiebungsprozessen zu den Drehprozessen entspricht, wurde bereits an anderer Stelle gezeigt [7].

- [1] H. Dittrich u. H. Hofmann, Elektrotechnik und Maschinenbau **87**, 101 (1970).
- [2] L. J. van der Pauw, Philips Research Report, **13**, 1 (1958) und **16**, 187 (1961).
- [3] J. D. Wasscher, Philips Research Report **16**, 301 (1961).
- [4] H. Hofmann u. G. Vaclavek, Jahresbericht 1970/71, Institut für Grundlagen und Theorie der Elektrotechnik der Technischen Universität Wien: Entwicklung

- einer Meßeinrichtung zur Bestimmung der Ummagnetisierungsverluste bei höchsten Induktionen.
- [5] G. Fasching u. H. Hofmann, Z. Angew. Phys. **17**, 244 (1964).
- [6] G. Nentwich, Z. Angew. Physik **29**, 197 (1970).
- [7] G. Nentwich u. H. Hofmann, Z. Angew. Physik **28**, 166 (1969).