

EINFLUSS DER NACHEINANDERFOLGENDEN UMMAGNETISIERUNG AUF DIE BEREICHSTRUKTUR POLYKRISTALLINER Fe—Si-BLECHE

VINCENT KAVEČANSKÝ, VLADIMÍR HAJKO,
JURAJ DANIEL-SZABÓ, Košice

Einleitung

Die nacheinanderfolgende Ummagnetisierung eines Ferromagnetikums zwischen den Feldern H_A und H_B , wo $H_B \neq -H_A$, ist mit zwei interessanten Effekten, den sogenannten „Reptation“ und „Bascule-négative“ Effekt begleitet. Die genannten Effekte verursachen, daß die Magnetisierung in den Endpunkten der unsymmetrischen Schleife nicht allgemein stabil ist, sondern ändert sich mit einer bestimmten Gesetzmäßigkeit. Der Effekt „Bascule-négative“, der sich nur bei relativ kleiner Zahl ($n < 20$) von nacheinanderfolgenden Schleifen äußert, verursacht solche Änderungen der Magnetisierung in den Endpunkten der unsymmetrischen Schleife, daß es zu einem Drehen der unsymmetrischen Schleife in der Richtung der Bewegung des Uhrzeigers zukommt. Der Effekt „Reptation“ im Sinne von Néel, der bei allen n vorkommt, verursacht an den beiden Enden der unsymmetrischen Schleife eine Änderung der Magnetisierung von dem gleichen Vorzeichen, führt also zur Verschiebung der unsymmetrischen Schleife in einer oder anderer Richtung der Magnetisierungsachse, abhängig davon, welcher ist der Anfangszustand, aus dem wir bei unsymmetrischer Ummagnetisierung auskommen. Die Effekte „Bascule-négative“ und „Reptation“ überlagern sich, und die Änderungen der Magnetisierung in den Endpunkten der unsymmetrischen Schleife folgen aus der gemeinsamen Wirkung dieser beiden Effekte. Für $n > 20$ ist der Einfluß des „Reptation“ Effektes stark überwiegend.

Die Existenz von „Reptation“ und „Bascule“ Effekte hat Néel theoretisch begründet [1–3]. Mit dem systematischen experimentellen Studium dieser Erscheinungen auf den polykristallinen Ferromagnetika hat sich in der letzten Zeit Nguyen van Dang [4–7] befaßt. Daniel-Szabó und Gengmangel [8] haben den Verlauf der genannten Effekte auf einem Rahmenkristall Fe—Al studiert. In der Arbeit [9] werden — zum erstenmal — jene Mikroprozesse studiert, die in Ferromagnetikum bei seinem unsymmetrischen Ummagnetisierung verlaufen. Hier studiert man den Einfluß der nacheinanderfolgenden unsymmetrischen Ummagnetisierung auf die Bereichstruktur eines einfachen Rahmenkristalls Fe—Al (6% Al, (1 0 0), [0 0 1]) mit

Hilfe Bitter-Akulovscher Pulvermuster. Die beobachteten Änderungen der Bereichstruktur sind in der Beziehung zu dem Effekt „Reptation“ erklärt. In der vorliegenden Arbeit, die unmittelbar auf die Arbeit [9] anknüpft, wird der Einfluß der nacheinanderfolgenden unsymmetrischen Ummagnetisierung auf die Bereichstruktur der ausgewählten Körner von polykristalliner Fe—Si-Blechen studiert.

Experimentelle Methode

Das experimentelle Studium der Änderungen der Bereichstruktur bei der unsymmetrischen Ummagnetisierung wurde auf den polykristallinen Fe—Si-Blechen (3,2% Si, 0,002 7% C) durchgeführt. Die Bleche wurden — vor der Anwendung zu dem mikroskopischen Studium — in Argonatmosphäre bei 1100 °C während 3 Stunden geglüht, dann langsam während 5 Stunden auf die Temperatur 300 °C abgekühlt. Die weitere Abkühlung verlief frei an der Luft. Von so bearbeiteten Blechen wurden die weitere Abkühlung vertief frei an der Luft. Von so bearbeiteten Blechen wurden dann chemisch zwei Toroiden, von den Dimensionen: a) \varnothing 28 mm (\varnothing 22,5 mm) \varnothing 22,5 mm, b) \varnothing 28,5 mm (\varnothing 22,5 mm) 0,25 mm, herausgearbeitet. Die Koerzitivkraft der verwendeten Proben machte 0,3 Oe. Die Windung, mit der man die unsymmetri-

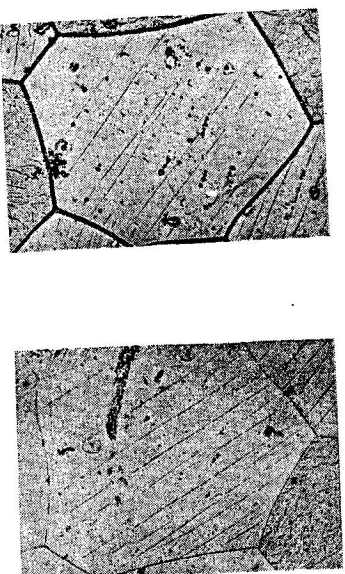


Abb. 1. Photographie der Bereichstruktur des Kornes der Probe a) bzw. b) in dem entmagnetisierten Zustand.

sche Ummagnetisierung erreichte, wurde an einem bestimmten Teil des Toroides angelegt. An dem symmetrisch gelegten Teil des Toroides, nach der mechanischen und elektrolytischen Polierung, wurde die Bereichstruktur, die mit Hilfe der bekannten Methode Bitter-Akulovscher Pulvermuster sichtbar gemacht wurde, mit einem metallographischen Mikroskop beobachtet. Zum Studium der Änderungen der Bereichstruktur bei der nacheinanderfolgenden unsymmetrischen Ummagnetisierung wurden Körner ausgewählt, deren Schleifebene praktisch mit der kristallographischen Ebene (1 1 0) identisch ist und so diese eine einfache Bereichstruktur hatten, und weiter solche von den Körnern dieses Types, bei denen bei der unsym-

metrischen Ummagnetisierung beobachtbaren Änderung der Bereichsstruktur beobachtet werden könnten. Es zeigte sich nämlich, daß es solche Körner dieses Types gibt, deren Bereichsstruktur bei der nacheinanderfolgenden unsymmetrischen Ummagnetisierung der Probe wurde zwischen den Feldern $H = 0$ und $H = H_A$ mit Hilfe von wiederholtem Aus- und Einschalten des Feldes verwirktlicht. Die Größe des Feldes H_A wurde so gewählt, damit die Änderungen der Bereichsstruktur auf den gewählten Körnern bei der nacheinanderfolgenden unsymmetrischen Ummagnetisierung möglichst ausgeprägt werden sollten. Bei den beiden Fällen [Probe a) und Probe b)] war $H_A \approx 1,5$ Oe. Der Ausgangszustand für die entsprechende Messung wurde durch Entmagnetisierung in einem allmählich auf Null sinkenden Wechselfeld erreicht und die Bereichsstruktur auf dem ausgewählten Korn der Probe a) bzw. b) in diesem entmagnetisierten Zustand ist in Abb. 1a bzw. 1b sichtbar.

Die Messergebnisse

Die Abb. 2a bis 2f zeigen die Photographien der Bereichsstrukturen auf dem ausgewählten Korn der Probe a) immer bei dem eingeschalteten Feld $H = H_A$ und bei

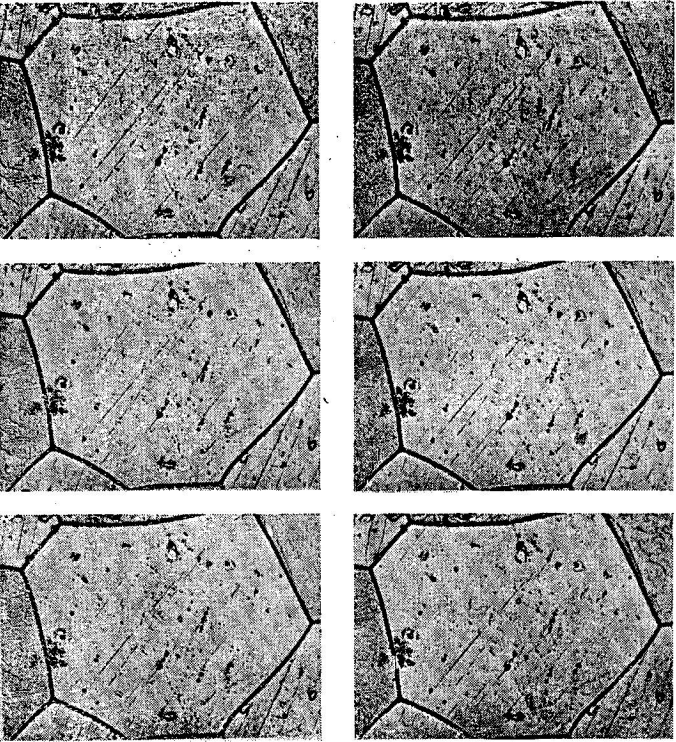


Abb. 2. Photographie der Bereichsstrukturen des Kornes der Probe a) bei dem eingeschalteten Feld $H = H_A$ und bei den verschiedenen Werten von n . a — $n = 0$, b — $n = 1$, c — $n = 6$, d — $n = 16$, e — $n = 36$, f — $n = 86$.

den verschiedenen Werten von n . Zu der Photographie 2a gehörende schematische Abbildung befindet sich auf der Abb. 4a. Aus den einzelnen Bildern kann man ganz deutlich die Verschiebung der Blochwand I in der Abhängigkeit von n sehen. Bei dem ausführlicheren Studium der Photographien mit Komparator können wir feststellen, daß auch die anderen Blochwände sich in bestimmter Weise verschieben,

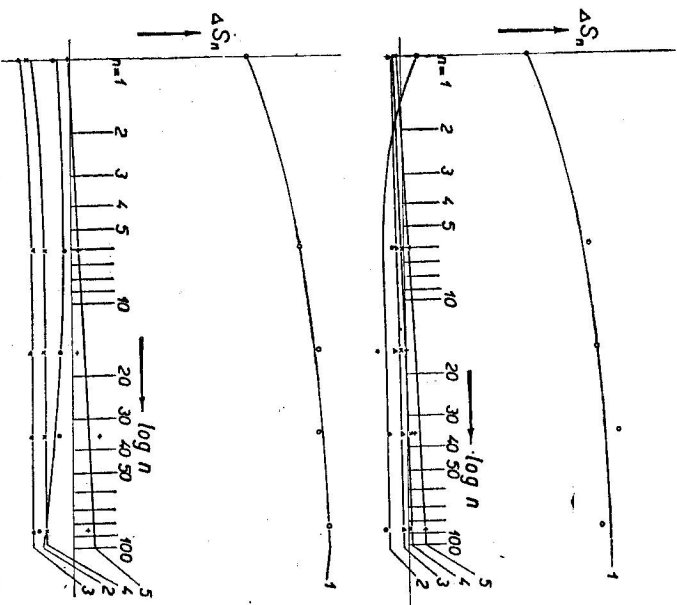


Abb. 3. Abhängigkeit der Entfernung einiger Blochwände der Probe a) von ihrer ursprünglichen Lage bei $n = 0$ von der Entfernung einiger Blochwände der Probe a) von ihrer ursprünglichen Lage bei $n = 0$ von der Zahl der Schleifen n . a — bei $H = 0$, b — bei $H = H_A$.

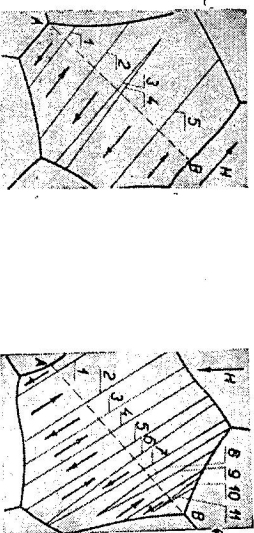


Abb. 4. Schematische, zu der Bereichsstruktur des ausgewählten Kornes bei $n = 0$ gehörende Abbildung. Auf der Abb. ist die Richtung des wirkenden magnetischen Feldes mit dem Pfeil gezeichnet. a — Probe a), b — Probe b) AB — Abszisse, längst derer die Änderungen der Lage einzelner Blochwände bestimmt wurden.

wie das aus der Abb. 3 zu sehen ist, wo die Abhängigkeit ΔS_n von $\log n$ für das Ende der Schleife $H = 0$ (Abb. 3a), bzw. $H = H_A$ (Abb. 3b) aufgezeichnet ist. ΔS_n dabei heißt die Entfernung der entsprechenden Wand von ihrer ursprünglichen Lage bei $n = 0$; sie ist auf der zugehörigen Achse in den geeigneten Einheiten aufgetragen. Wie es zu sehen ist, die Lage der Blochwand 1 ändert sich am ausgeprägtesten, so wie bei dem Ende $H = 0$, auch bei dem Ende $H = H_A$ der unsymmetrischen Schleife. Besonders große ist die Änderung dieser Wand bei $n = 1$, während bei den höheren Werten von n die Wand 1 die Tendenz ihre Lage zu stabilisieren hat. Die Änderungen

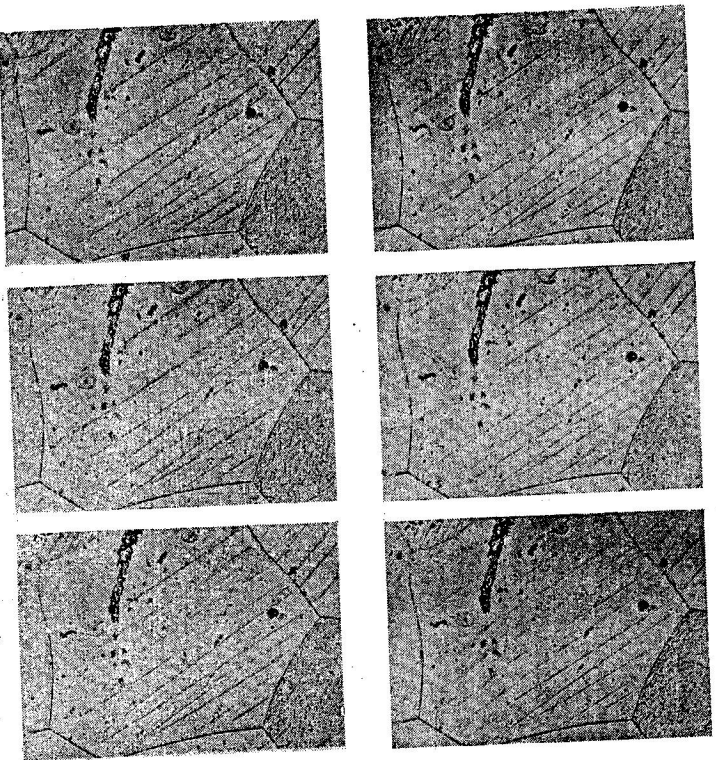


Abb. 5. Photographien der Bereichsstrukturen des Kornes der Probe b) bei dem eingeschalteten Feld $H = H_A$ und bei den verschiedenen n . a — $n = 0$, b — $n = 1$, c — $n = 5$, d — $n = 20$, e — $n = 40$, f — $n = 190$.

der Lagen von den anderen Wänden sind wesentlich kleiner. Man kann aber bemerken, daß z. B. die Wände 3, 4 (Abb. 3b) nach einer bestimmten Änderung der Lage bei $n = 1$, bei höheren Werten von n ihre Lage praktisch nicht mehr ändern. Dagegen die Wand 5 (Abb. 3b), die bei $n = 1$ sich ganz vernachlässigbar ändert, hat die Tendenz, ihre Lage bei den höheren Werten von n ausdrucksvoller zu ändern.

Die Abb. 5a bis 5f zeigen die Photographien von Bereichsstrukturen auf dem ausgewählten Korn der Probe b) immer bei dem eingeschalteten Feld $H = H_A$ und bei

den verschiedenen Werten von n . Zu der Photographie 5a gehörende schematische Abbildung befindet sich auf der Abb. 4b. Die relativen Verschiebungen der einzelnen Blochwände in der Abhängigkeit von $\log n$ sind auf der Abb. 6 aufgezeichnet, sowie bei dem Ende $H = 0$ (Abb. 6a), auch bei dem Ende $H = H_A$ (Abb. 6b) der unsymmetrischen Schleife. Es ist zu sehen, daß sich hier mehrere Wände in der Abhängigkeit von n verschieben. Schauen wir näher die Abb. 6b. Es folgt, daß die Wände 1, 2, 3, 4, 5 ihre Lage praktisch nur für $n < 20$ ändern und für die höheren Werte von n

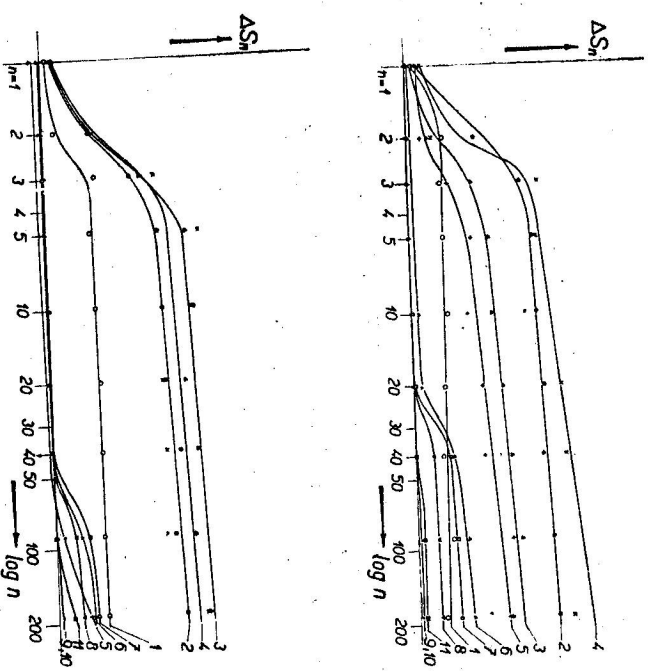


Abb. 6. Abhängigkeit der Entfernung einiger Blochwände des Kornes der Probe b) von ihrer ursprünglichen Lage bei $n = 0$ von der Zahl der Schleifen n . a — bei $H = 0$, b — bei $H = H_A$, \circ Wand 1, \bullet Wand 2, \triangle Wand 3, \times Wand 4, $+$ Wand 5, \blacktriangle Wand 6, \square Wand 7, ∇ Wand 8, \cdot Wand 9, 10, \blacksquare Wand 11.

haben die Tendenz sich zu stabilisieren. Die Wände 6, 7, 8, die für $n < 20$ ihre Lage praktisch nicht ändern, haben die Tendenz ihre Lage bei $n > 20$ ausdrucksvoller zu ändern, aber für $n > 50$ stabilisierten sie allmählich ihre Lage. Die Wände 9, 10, 11 ändern praktisch ihre Lage für $n < 200$ nicht. Auf der Abb. 6 können wir weiter wahrnehmen, daß sich keine von den Wänden des gewählten Kornes der Probe b) in so ausgeprägter Weise ändert, wie es der Fall bei der Wand 1 — auf dem ausgewählten Korn — der Probe a) war.

Der Verlauf von den entsprechenden Abhängigkeiten der Abb. 3 und Abb. 6 ermöglicht zu schließen, daß die nacheinanderfolgende unsymmetrische Ummagnetisierung in den einzelnen Körnern eines polykristallinen Ferromagnetikums unter günstigen Bedingungen zur Verschiebung der Blochwände in der Richtung zur energetisch günstigeren Lage führt. Dabei wirklichen einige Blochwände diese Verschiebung bei den kleinen Werten von n und bei den höheren Werten von n haben die Tendenz, ihre Lage zu stabilisieren, die anderen Wände dagegen beginnen ihre Verschiebung erst bei den höheren Werten von n . Manche Blochwände bewahren praktisch ihre ursprüngliche Lage während der gesamten Serie von nacheinanderfolgenden unsymmetrischen Ummagnetisierungen. Diese Tatsachen sind in vollem Einklang mit der Voraussetzung, die über den Mechanismus der Mikroprozesse, die mit der Erscheinung „Reptation“ in polykristalliner Ferromagnetika zusammenhängen, in der Arbeit [9] ausgesagt wurde.

Die makroskopisch beobachtbaren Effekte „Bascule-négative“ und „Reptation“ sind Resultate einer Menge von Mikroprozessen, die auf allen Körnern eines polykristallinen Ferromagnetikums mehr oder weniger ausgeprägt verlaufen und die — nach unserer Meinung — zu den Mikroprozessen analogisch sind, die auf der Abb. 2 und Abb. 5 abgezeichnet sind. Es ist nur selbstverständlich, daß auf Grund dieses mikroskopischen Studiums der Bereichstruktur bei der nacheinanderfolgenden unsymmetrischen Ummagnetisierung nicht entscheiden kann, welche Verschiebungen der Wände der Bereiche der makroskopischen Erscheinung „Bascule-négative“ und der Wände der Bereiche der makroskopischen Erscheinung „Reptation“ gehören, welche der Erscheinung „Reptation“ gehören, weil die Faktoren, die für den einen, welche der Erscheinung „Reptation“ sind, sich gleichzeitig wirklichen und die Ver- bzw. zweiten Effekt verantwortlich sind, die resultierenden Wirkung von allen Faktoren schiebung jeder Wand entspricht der resultierenden Wirkung von allen Faktoren in dem gegebenen Ort der Probe und bei dem entsprechenden n . Mit Rücksicht auf die quantitative Äußerung des Effektes „Bascule-négative“, makroskopisch nur bei den kleinen n ($n < 20$) beobachtet werden kann, kann man vielleicht vermuten, daß die Verschiebungen der Wände bei den höheren n praktisch nur mit der Erscheinung „Reptation“ zusammenhängen. Das genannte mikroskopische Studium ermöglicht aber ganz eindeutig zu schließen, daß die entsprechenden Interaktionen, die bei den nacheinanderfolgenden unsymmetrischen Ummagnetisierung zur Geltung kommen, energetisch günstiger sind für die Verschiebungen einiger Wände bei den kleineren Werten von n , bei den anderen dagegen für die höheren Werte von n . Es scheint also, daß die makroskopisch beobachtbaren Änderungen der Magnetisierung, die zu dem Effekt „Reptation“ gehören, sind durch Verschiebungen einer bestimmten Menge von Blochwänden verursacht, dabei mit wachsendem n manche Blochwände aus dieser Menge ausfallen und andere Wände wieder zu dieser Menge zutreten. Das ist im Einklang auch mit der Néelschen Vorstellung über den Mechanismus des „Reptation“-Effektes, die in der Arbeit [1] ausgesagt wurde.

Zum Schluß danken wir dr. Gengnagel aus Jena für die anregenden Diskussionen

und Vyzkumný ústav hutníctví železa Praha für die gegebenen Fe—Si-Bleche, an denen das mikroskopische Studium durchgeführt wurde.

LITERATUR

- [1] Néel L., Comptes Rendus 244 (1957), 2668.
- [2] Néel L., Comptes Rendus 246 (1958), 2313, 2963.
- [3] Néel L., Communication, Colloque international de magnétisme Grenoble, juillet 2—6 (1958).
- [4] Nguyen van Dang, Communication Soc. Franc. Phys., Groupe de Grenoble, Febr. 20, 1957.
- [5] Nguyen van Dang, Comptes Rendus 246 (1958), 2357.
- [6] Nguyen van Dang, Comptes Rendus 246 (1958), 3034.
- [7] Nguyen van Dang, Communication, Colloque international de magnétisme, Grenoble juillet 2—6 (1958).
- [8] Daniel-Szabó J., Gengnagel H., Physica status solidi 1 (1961), 5, 512.
- [9] Gengnagel H., Hajko V., Daniel-Szabó J., Czechosl. Journ. Phys. 12 (1962).

Eingelangt am 23. Mai 1962.

Katedra fyziky
Vysoké školy technické
v Košicích

ВЛИЯНИЕ ПОСТЕПЕННОГО ПЕРЕМАГНИЧИВАНИЯ НА ДОМЕННУЮ СТРУКТУРУ ПОЛИКРИСТАЛЛИЧЕСКИХ Fe—Si ЛИСТОВ

Винцент Кавечански, Владимир Хайко, Юрий Даниел-Сабо

Резюме

В этой работе изучается влияние постепенного несимметрического перематничивания на доменную структуру избранных зерен поликристаллических Fe—Si листов методом Биттер-Агуловых порошковых фигур. Изменения доменной структуры, вызванные этим перематничиванием, объясняются в отношении к явлениям „Reptation“ и „Bascule-négative“.