

## 第 7 会場 (鉄鋼の組織・性質・加工)

## (255) Fe-Al-Si系 2 方向性電気鉄板の試作

理研ピストンリング工業

真殿 統・虎石竜雄・鈴木賢造  
脇 脩・吉川 甫

Production of Doubly Oriented Magnetic Sheets of Fe-Al-Si Alloys.

Osamu MADONO, Tatsuo TORAISHI,  
Kenzo SUZUKI, Osamu WAKI  
and Hajime KIKKAWA.

## 1. 緒 言

現在、電気機器の鉄心材料として、けい素鋼板が広く用いられているが、このけい素鋼板のうち、方向性けい素鋼板と呼ばれるものは、板面上に、1 方向組織、すなわち、(110) [001] 集合組織 (Goss 組織とも呼ばれる) を再結晶により発達せしめたものである。これは、圧延方向には、きわめてすぐれた磁性を示すが、これ以外の方向の磁性は非常に悪い。このため、実際使用する場合には、かなり制約を受ける。すなわち、この材料を変圧器に用いるさいには、たとえば、額縁型や、巻型鉄心のような面倒な組立方法をとらねばならない。また、回転機用鉄心として用いる場合、圧延方向に直角な方向の磁性の悪いことが難点となる。

一方、板面上に、2 方向組織、すなわち、(100) [001] 集合組織 (立方体組織) を形成せしめた場合、圧延方向と、これに直角な方向にすぐれた磁性が表われ、したがって、電気鉄板としての性能は、大いに改善されることが期待できる。この 2 方向組織を得る方法については、これまでに種々報告されている。たとえば、ASSMUSS らの表面エネルギーを利用する方法<sup>1)</sup>、米国、G. E. 社の柱状晶インゴットを利用する方法<sup>2)</sup>、BOZORTH らの Fe-Al 合金を利用する方法<sup>3)</sup>、などである。これらの方法のうち、前 2 者の方法は、実際に工業的に応用するには相当な困難が感ぜられる。後者の Fe-Al 合金を利用する方法は、Fe-Al 合金の場合、Al が非常に反応性に富む元素であるため、溶製時に介在物が生じやすく、清浄なインゴットを得ることが難かしいとされているが、この点が解決されれば、工業的応用は大いに期待される。

一方、再結晶によつて、1 方向組織を発達させるためには、特殊な介在物の存在、すなわち、硫化物、窒化物、炭化物および酸化物などのインヒビターの効果<sup>4)5)</sup>が、重要な役割を果していることは良く知られている。

したがつて、2 方向組織を得るには、逆にこれら硫化物、窒化物、炭化物および酸化物などの介在物のできるだけ少ないインゴットを用いることが必要と考えられる。以上のような点から、著者らは、これらの介在物の少ない高純度の Fe-Al-Si 合金インゴットをエレクトロスラグ溶解法で溶製し、2 方向性電気鉄板を工業的に製造すべく種々検討を行なつた。以下にその概略を述べる。

## 2. エレクトロスラグ溶解法

本報においては、極低炭素鋼より消耗電極をつくり、水冷金属ルッポ内で、スラグを用いて溶解した。なお、Al, Si などは、溶解時に添加した。

この方法によれば、スラグの精錬効果により、S, N, O などの介在物を著しく減少させることができる。

スラグは、CaF<sub>2</sub>-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 系のものを、また、電源には直流を使用した。インゴットの化学分析値の 1 例を Table 1 に示す。

## 3. 加工条件

3.2%Al-Fe 合金に、40-85%の圧下率で冷間圧延を加え、0.35 mm 厚とした試料に、1000°C×15 min の熱処理を行なつて、圧下率と磁気トルク曲線の関係を求めた。

その結果を Fig. 1 に示す。

圧下率 70~80%でトルク曲線は、2 方向組織の存在を示す 4 回対称性を持つようになる。

さらに同一成分の試料について、中間焼鈍をはさむ 2 回の冷間圧下を種々な組合せで加えた場合の磁気トルク値を Fig. 2 に示す。この場合の最終厚み 0.35 mm、中間焼鈍は 1000°C×15 min、仕上げ焼鈍は、1000°C×2 hr、H<sub>2</sub> 雰囲気中で行なつた。また、中間焼鈍を 800°C

Table 1. Chemical composition of an ingot.

C	Mn	P	S	Si	Al	N	ΣO
0.005	0.22	0.013	0.003	1.02	1.98	0.001	0.006

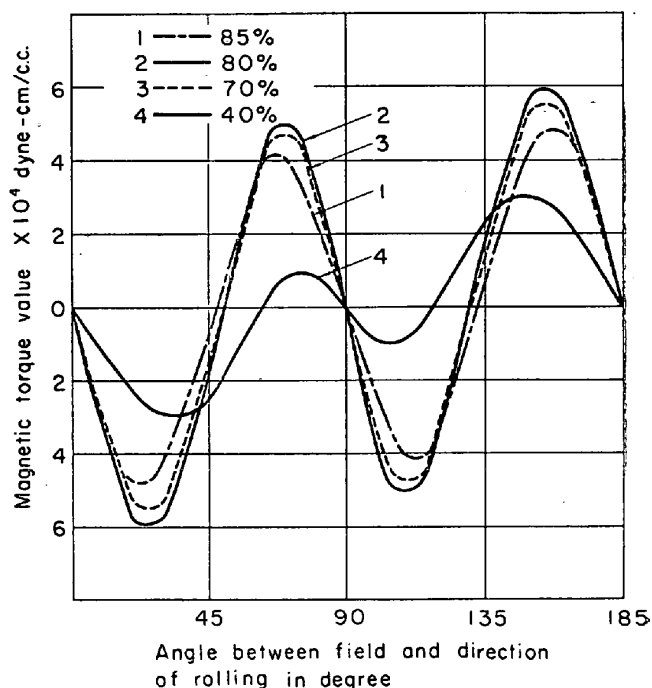


Fig. 1. Magnetic torque curves of 3.2% Al-Fe alloy with various rates of cold reduction.

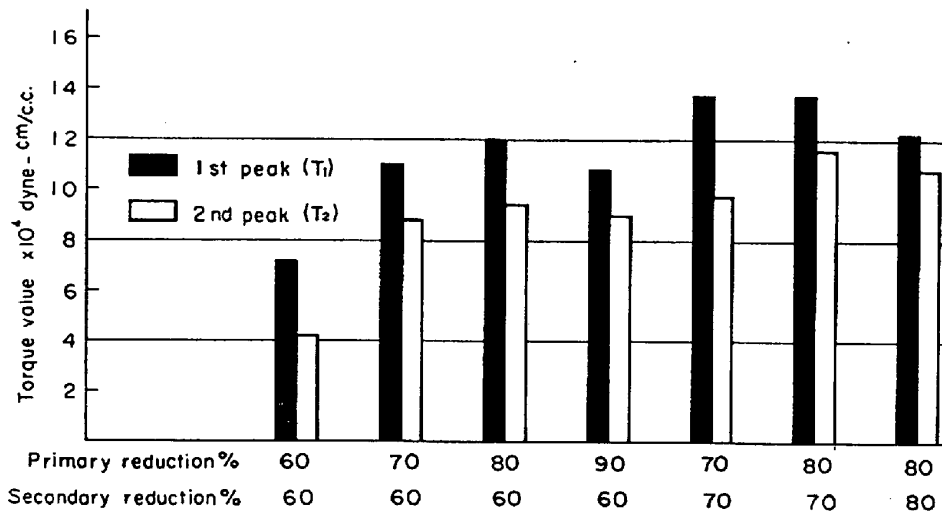


Fig. 2. Effect of rates of primary and secondary rolling reduction upon torque value.

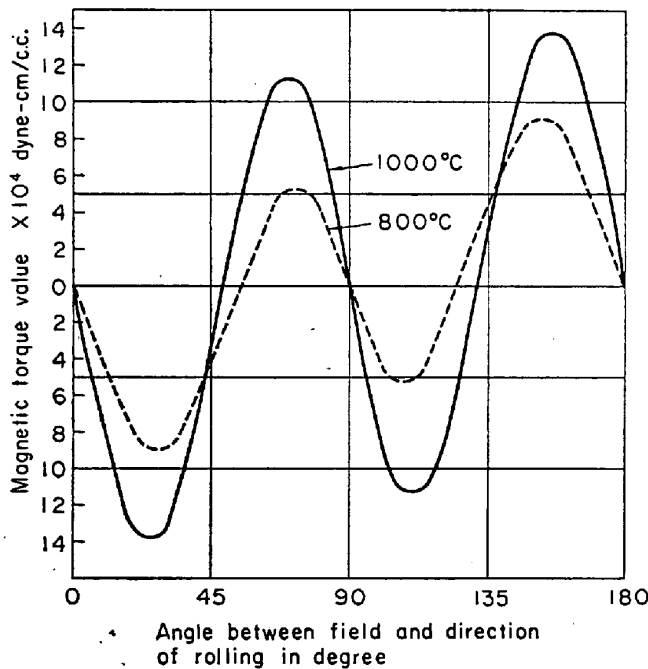


Fig. 3. Effect of intermediate annealing temperature upon magnetic torque curve of final sheets.

×15 min で行なつた場合とのトルク曲線の比較を Fig. 3 に示す。中間焼鈍 800°C の場合には、2 方向よりもむしろ 1 方向的傾向を示す。

この結果、1 次圧下率 70~80%、2 次圧下率 70~60%、中間焼鈍および仕上げ焼鈍温度、それぞれ 1000°C で 2 方向組織の発達が良好なことがわかつた。

なお、中間焼鈍温度 1000~1100°C、時間 2~60 min、および仕上げ焼鈍 1000~1100°C、時間 1~10 hr の間では、最終の磁気トルク値にほとんど変化は見られなかつた。

以上は、2 回圧延の結果であるが、冷間圧延を 3 回以上くり返せば、磁気トルク値の向上が見られる。ただしこの場合、熱延板の厚みが大となり、工業的応用はやや

困難となる。

4. 合金成分について

Al, Si 含有量の組合わせをそれぞれ、0~6%の範囲で変え、1 次圧下率 80%、2 次圧下率 70%、中間焼鈍、1000°C×15 min 仕上げ焼鈍 1000°C×3 hr 仕上げ厚み 0.35 mm とした場合の最終のトルク値の測定結果を Fig. 4 に示す。図中斜線で示した Al 1~3%、Si 0~2% の範囲でほぼ同程度の 2 方向組織の集積が見られる。

5. 試作 2 方向性電気鉄板の磁気特性

試作した電気鉄板の磁性の 1 例を Fig. 5 に示す。

同鉄板は、350×850×2000 mm、重量約 4.5 t のインゴットより作られた。最終成品の分析値を Table 2 に示す。加工条件は、1 次圧下率および 2 次圧下率それぞれ 80%、70%、中間焼鈍 1000°C、仕上げ焼鈍 1000°C×3 hr、仕上げ厚み 0.35 mm である。

6. 総 括

(1) Al を含む鉄合金を、エレクトロスラグ法で溶解し高純度のインゴットを作り、これを用い 2 方向性の電気鉄板の製造に成功した。

(2) 加工条件は、1000°C の中間焼鈍をはさむ 2 回

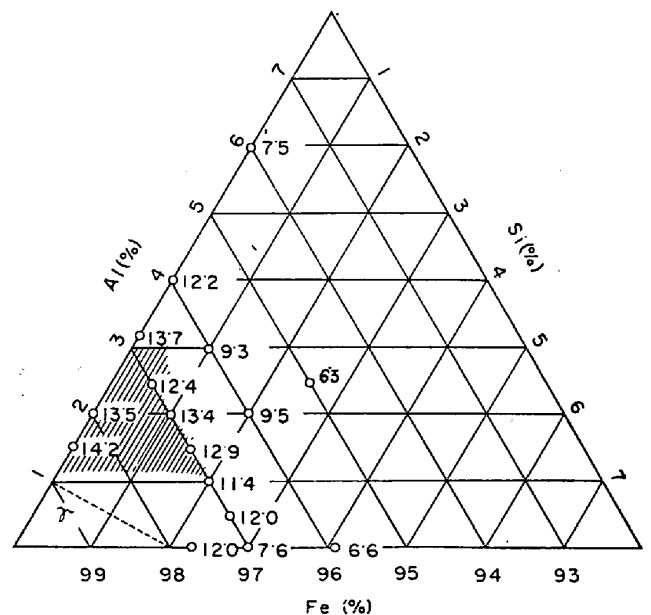


Fig. 4. Maximum torque values in ×10<sup>4</sup> dyne-cm/cc for Fe-Al-Si system.

Table 2. Chemical composition of final sheet.

C	Mn	P	S	Si	Al	N	ΣO
0.004	0.23	0.014	0.002	1.01	1.97	0.001	0.006

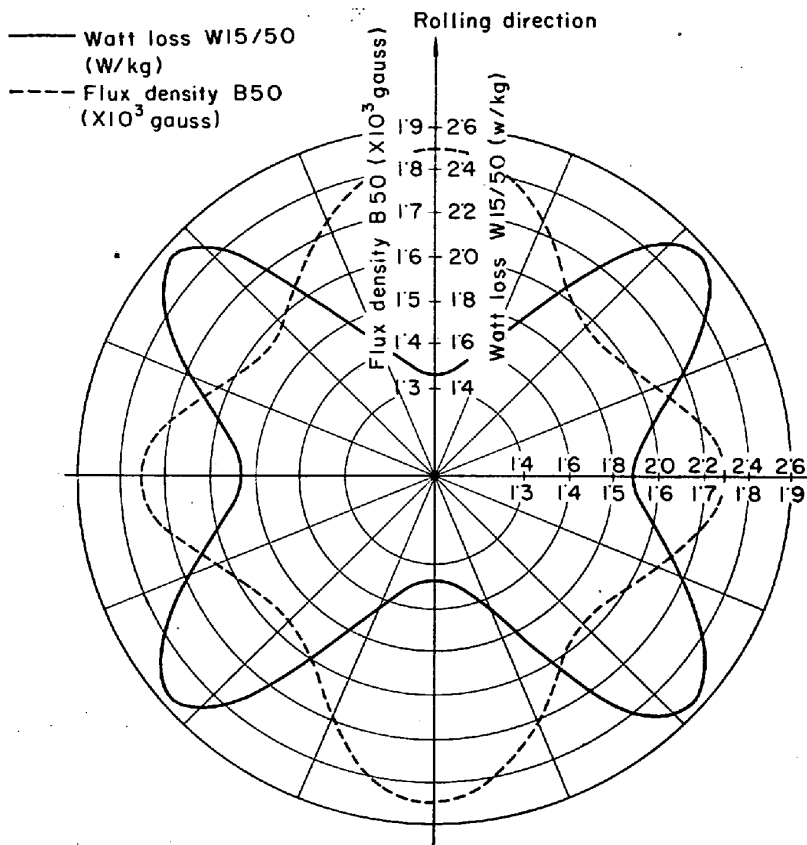


Fig. 5. Magnetic characteristics of an Fe-Al-Si doubly oriented sheet.

の冷間圧延—1次圧下率 80%, 2次圧下率 70%—で、0.35 mm 厚に加工し、仕上焼鈍を 1000°C で行なった。

文 献

- 1) F. ASSMUS, K. DETERT, and G. IBE: Z. Metal, 48 (1957), 341
- 2) Belgian Patents, 560, 938 (Sept. 1957), 560, 972, 560, 976
- 3) R. M. BOZORTH, H. J. WILLIAMS, and R. J. MORRIS.: Phys. Rev., 58 (1940), 203
- 4) J. E. MAY and D. TURNBULL.: Trans. Met. Soc., Amer. Inst. Min., Met. & Pet. Eng., (1958), p. 212
- 5) J. D. FAST: Philips Research Reports, 11 (1956), p. 490

(256) 珪素鋼板の 2 次再結晶におよぼす不純物の影響

(方向性珪素鋼板の研究—I)

住友金属工業, 中央技術研究所○松岡 孝  
Effects of Impurities on the Secondary Recrystallization Texture in Silicon Iron.  
(Studies on singly oriented silicon iron—I)

Takashi MATSUOKA.

1. 緒 言

珪素鋼板の (110) [001] 2 次再結晶集合組織の形成に

は微小な不純物を分散させ 1 次再結晶の成長を抑制する必要がある。この不純物として一般には MnS が使われているが、窒化物や炭化物も有効であるとの報告がある。すなわち FIEDLER<sup>1)2)</sup> は VN を、田口<sup>3)~6)</sup> は AlN を、西原<sup>7)~9)</sup> は Cr-C, Nb-C, Cr-V-C を、菅野<sup>10)11)</sup> は W-C, B-N-C を、さらに FIEDLER<sup>12)</sup> は TiC を有用な不純物であると発表している。

このように多数の種類の不純物が効果を示すとはいえ、全体を通じて具備しなければならない統一の見解は存在しない。今回は (110) [001] 2 次再結晶集合組織の形成に影響する不純物の種類別、必要量を明らかにする目的で実験を行なった。

2. 供試材と実験方法

鋼塊は 25 ないし 100 kg 大気中高周波炉溶製を行なったもので、溶解成分は 0.06% C-3.25% Si-Fe に Ti 0.02~0.15%, V 0.03~0.15%, Nb 0.005~0.09%, Al 0.002~0.031%, B 0.005~0.011%, Zr 0.03~0.15% それぞれ単元系で含有するものである。鋼塊を鍛圧で約 18 mm 厚×100~70 mm 幅のスラブとした。スラブを熱間圧延で 2.5 mm 厚の熱間圧延板とした。この熱間圧延板に種々の熱処理を行ない、ついで 0.9 mm 厚までの第 1 回冷間圧延、1000°C×10 min の中間焼鈍、0.35 mm 厚までの第 2 回冷間圧延を行なった。最終焼鈍は 300~500°C/hr で昇温し 950 から 1200°C の所定の温度で一定時間保持して行なった。

2 次再結晶の発達にはマクロ組織および磁気トルクの測定で判定した。トルクは 20 mm 打抜円板について 3000 Oe の磁場中でリオン製自動記録装置を用いて測定した。トルクのピーク値を (110) [001] 単結晶のピーク値で割って 2 次再結晶集積度とした。

3. 実験結果

3.1 2 次再結晶集合組織形成におよぼす成分および圧延熱処理条件

トルク 3 コの測定の平均から求めた集積度を Table 1 に示した。これは多数の 2 次再結晶試験結果の一部である。Photo. 1 に Ti, V, Nb 添加材からえられた (110) [001] 2 次再結晶のマクロ組織を示した。

Table 1 に見られるように Ti, V, Nb, Al とも (110) [001] 集合組織形成に有用な元素である。しかし B, Zr 添加では効果が見られなかった。

各元素の添加量を検討すると、Ti 0.02% の T2 では 2 次再結晶部分と 1 次再結晶部分とが混在しており、1 方向性珪素鋼板として必要な全面が 2 次再結晶粒になるというようなことがない。T4 では 2 次再結晶粒が全面に拡がるようになり、T12, T15 で完全に安定した成長が起こる。添加元素 V の場合 V3 ではまだ 2 次再結晶集積度が低いが V8 で高くなり V15 で結晶成長はきわめてよくなる。Nb の場合 0.015% でかなり良好な 2 次再結晶が見られ、非常にわずかな添加量で有効なことがわか