Fe₇₃Ni₈Si₁₀B₉アモルファス合金の製造条件と磁気特性の関係

富田 貞美* 鈴木 秀夫*

J. Japan Inst. Metals, Vol. 49, No. 12 (1985), pp. 1019-1026

Relation between the Processing Parameters and Magnetic Properties
in Fe₇₃Ni₈Si₁₀B₉ Amorphous Alloys

Sadami Tomita* and Hideo Suzuki*

Amorphous ribbons obtained by a melt quenching method can be considered as low cost materials because of their simple manufacturing process. Iron based amorphous alloys are expected to be a good transformer core material due to their high induction and permeability characteristics. While extensive studies on the composition and heat treatment have been performed so far, few reports have dealt with magnetic properties in the as-quenched state. In this study, we have intended to study the relation between the magnetic properties in the as-quenched state and the process conditions.

Samples with the composition of Fe₇₃Ni₈Si₁₀B₉ were made by a single roll quenching apparatus, and the ejection pressure, the roll rotation number and the temperature of the ribbon surface when pulled from the melt were varied. The magnetic properties were measured by a toroidal core method. The fracture strains were observed by the Bitter method.

It was found that the magnetic anisotropy of amorphous ribbon became greater with higher rotation number V_R . Maze patterns in the domain structure were significant at $V_R=33-42\text{ s}^{-1}$, but the 180° domains dominated at $V_R=50-58\text{ s}^{-1}$. These magnetic properties and domain structures can be explained by the compression perpendicular to the ribbon induced by Inver effect concerning the temperature of the ribbon surface when pulled from the melt.

(Received February 15, 1985)

Keywords : amorphous metal, rapid quenching, single roll method, magnetic property, hysteresis loop, domain structure

I. 緒 言

溶湯急冷法によって作製されるアモルファスリボンは液体状態から一気に薄板が作られることから、低コストの材料として注目されている⁽¹⁾⁽²⁾。特に鉄をベースとしたアモルファス磁性合金は磁束密度が大きく、透磁率が大いという特長から、トランスコア材料として有望視される⁽³⁾。従来、アモルファス合金に関する研究では、組成と熱処理とで変化する磁化特性の問題が中心で、急冷状態のままの磁化特性を調べた例は少ない。本研究では、急冷操作のままのアモルファスリボンにおける、作製条件とアモルファス合金の磁化特性の関係を解明することとした。

II. 実験方法

1. 溶湯急冷試料合金

アモルファスリボンの作り易さの点で優れた組成であ

り、かつ、磁化特性の点でも高磁束密度、低保磁力材料としてパーマロイに比肩する合金として、Fe₇₃Ni₈Si₁₀B₉を取り上げて実験した⁽⁴⁾。原料に電解鉄(純度99.95%)、電解ニッケル(純度99.9%)、塊状ボロン(純度99.85%)、および塊状シリコン(純度99.99%)を用いて、配合比は原子%でFe₇₃Ni₈Si₁₀B₉として秤量した原料をアルミナルツボに入れ、電気炉で酸化防止のためのアルゴンガスを吹き付けながら1550~1600 Kで溶融させた。溶け落ち確認後、吸い上げ用治具の一端を溶湯中に挿入し、他端を継いだ吸い上げ器で溶湯を石英管中に吸い上げて凝固させ、直径5 mm、長さ200~400 mmの棒状試料を得て溶湯急冷試料合金とした。

2. 片ロール装置および溶湯急冷条件

片ロール装置⁽⁵⁾の概略をFig.1に示す。装置はロール駆動部と溶湯供給部よりなり、溶湯供給部は試料合金を溶

* 株式会社日立製作所日立研究所(Hitachi Research Laboratory, Hitachi Ltd., Hitachi)

Fig.1 Schematic construction of experimental apparatus for making amorphous ribbons.

解するための高周波加熱コイル，溶湯を噴出させるためのノズルおよび噴出圧ガス供給系，ノズルを移動し，設定するためのノズル駆動系などからなっている。ロールは可変速モータと軸受けボックスを介して接続され，偏心のない回転体となっている。ロール寸法は直径 300 mm で幅は 40 mm である。材質は純銅で表面には 15 μ m 厚さのクロムメッキを施したものをバフ研磨により鏡面に仕上げて用いた。

溶湯噴出用ノズルは石英で作られており，スリット材オリフィスの開口部寸法は 0.7 mm $\times$ 10 mm とした。ノズル先端とロール間の距離は 0.15 mm で，平行になるよう対向させた。溶融状態の試料合金を 1540 K に加熱してから，ノズル上部に噴出圧ガスを作用させて，溶湯をロール面に噴出してアモルファスリボンを作製した。実験ではロール回転数および噴出圧を変えてリボンを作製するとともにノズル・ロール間にパドルとなって存在する溶湯を観測しリボン表面温度を測定した。

3. 破壊歪および磁化特性の測定

アモルファスリボンの脆性を調べるために，マイクロメータで曲げ破壊したときの破壊歪を $\epsilon_f = t/(w-t)$ の式により求めた⁽⁶⁾。ここで， w は曲げ直径， t は試料厚さである。

アモルファスリボンの磁気測定はトロイダル巻磁心法による。巻磁心は基台に内径 23 mm，外径 25 mm，高さ 10 mm の銅リングを用い，その上にリボンの一端を接着剤で固定して，幅 10 mm のリボンに対して約 1 N の張力で巻磁心に成形した。リボンの作製条件によっては，リボンが波打っており，この場合，リボンに張力を与えると磁区構造が変わることが認められた。すなわち，波打ったリボンには迷路状の磁区模様が多くみられるが，張力を与えることにより消滅する。したがって，本実験における巻磁心による磁気測定には張力の影響が含まれ，張力なしの場合に較べると磁化曲線の角型ヒステリシスループが強調され

る傾向にあった。このようにして作製した巻磁心はアクリル樹脂のケースに入れ，巻線によるひずみが磁心にかからないようにして磁化特性の測定に供した。磁化特性としては磁束密度 B_{100} ， B_{10} ， B_1 (それぞれ $H=8000$ ，800 および 80 A/m における磁束密度)，角型比 B_r/B_{10} ， B_r/B_1 (B_r は残留磁束密度) および保磁力 H_c ($H_m=80$ A/m のとき) を測定した。

磁区構造観察はビッター法による。磁性流体を水で希釈し，超音波で攪拌してからリボン表面に点滴し，カバーガラスで抑えて磁区模様を出し，それを干渉顕微鏡で観察した。

4. 熱処理実験

アルゴン雰囲気中で 633 K-1.8 ks (30 min) の磁場中加熱保持を行なって熱処理効果を確認した。熱処理ではリボンの長手方向に 1600 A/m の磁場を印加した。

III. 実験結果

噴出圧力とロール回転数を変えて，アモルファスリボンを作製して，リボンの厚さおよび破壊歪を調べた結果を Table 1 に示す。測定は 1 本のリボンの先端部，中央部，後端部の 3 ケ所で行ない，それぞれの値を示した。破壊歪はリボンの非晶質の程度を示すもので， ϵ_f が 0.02 以下では曲げ破壊で脆性破面があらわれ完璧なアモルファス状態とはいいい難いものである。

噴出圧力とロール回転数の組合せでリボンの厚さは変化する。噴出圧力を大きくすればリボン厚さは増し，ロール回転数を下げればリボン厚さを増す。一般に，リボン厚さが増すと曲げ破壊歪は小さくなる。

Table 1 に示すように， P_E を 0.02~0.08 MPa， V_R を 25-28 s^{-1} (1500~3500 rpm) の範囲で変えることによって

Table 1 Thickness (t) and fracture strain (ϵ_f) of the amorphous ribbons. P_E , V_R and L are, respectively, ejection pressure, rotation number and ribbon length.

No.	P_E (MPa)	V_R (s^{-1})	L (m)	head		middle		end	
				t (μ m)	ϵ_f	t (μ m)	ϵ_f	t (μ m)	ϵ_f
1	0.02	25.0	7.8	26.0	0.4	23.5	1.0	23.0	1.0
2	0.02	33.3	10.2	21.0	0.4	19.0	1.0	18.0	1.0
3	0.02	41.7	12.1	18.5	0.4	16.0	1.0	15.5	1.0
4	0.02	50.0	14.6	15.5	1.0	13.5	1.0	13.0	1.0
5	0.02	58.3	17.0	12.5	1.0	11.0	1.0	11.0	1.0
6	0.05	25.0	5.2	37.0	0.02	34.5	0.1	33.5	0.1
7	0.05	33.3	6.3	31.0	0.1	28.0	0.4	27.0	0.4
8	0.05	41.7	8.0	25.5	0.4	24.0	1.0	23.5	1.0
9	0.05	50.0	9.5	22.5	0.4	20.5	1.0	20.0	1.0
10	0.05	58.3	11.0	19.0	0.4	18.0	1.0	17.5	1.0
11	0.08	25.0	3.8	48.5	<0.01	45.0	<0.01	44.0	0.01
12	0.08	33.3	4.4	39.0	0.01	37.0	0.02	36.0	0.02
13	0.08	41.7	5.5	34.0	0.02	31.5	0.1	30.5	0.1
14	0.08	50.0	6.5	29.5	0.02	27.5	0.4	26.5	0.4
15	0.08	58.3	7.5	25.5	0.1	24.0	1.0	23.0	1.0
16	0.03	33.3	7.8	25.5	0.4	23.5	1.0	23.0	1.0
17	0.06	50.0	8.0	25.0	0.4	23.0	1.0	22.5	1.0

リボン厚さを 10 μm 程度から 50 μm 程度の範囲で変えることができる。また、 P_E と V_R の異なった組合せで、ほぼ同じ厚さのリボンを作製することもできる。例えば、23-25 μm のリボンは 0.02 MPa と 25 s^{-1} でも、また、0.08 MPa と 58.3 s^{-1} でも同じように作製できる。なお、Table 1 において、リボンの先端、中央、後端の比較で先端部が厚く、同時に破壊歪が小さい。このように 1 本のリボンでも位置によって異なるのはロールと溶湯のぬれが関係していて、先端部はどロールによる抜熱が弱く、冷却速度の低下が関係しているものと解される。

Table 1 に示した 17 通りのリボンで、リボンの中央部約 10 g を用いてトロイダル磁心に巻き、磁気測定試料を作製し、その磁化特性を測定した。測定結果を Fig. 2~Fig. 5 に示す。Fig. 2 は噴出圧力 P_E を 0.02 MPa 一定とし、回転数 V_R を 25-58.3 s^{-1} に変えたときの磁束密度 B_{100} , B_{10} , B_1 , 角型比 B_r/B_{10} , B_r/B_1 および保磁力 H_c である。同様に、Fig. 3 は $P_E=0.05$ MPa 一定としたときのもの、Fig. 4 は $P_E=0.08$ MPa 一定としたときのものである。Fig. 5 は、リボン作製条件として V_R に対して P_E を適宜変えて、リボン厚さが 23-25 μm 一定として V_R と磁化特性の関係を整理したものである。

ロール回転数 V_R と磁化特性の関係は、噴出圧力 P_E 一定の条件では、 V_R が大きいとき保磁力 H_c が増し、角型

比 B_r/B_m が低下する傾向がある。磁束密度に関しては、 $P_E=0.02$ MPa の場合を別として、 V_R が大きいとき B_{100} , B_{10} , B_1 は増す傾向にある (Fig. 2~4)。しかし、リボン厚さ一定の条件では、Fig. 5 に示すように、中間的な回転数、すなわち、 $V_R=33.3$ -41.7 s^{-1} (2000-2500 rpm) のとき、 H_c が大きく、 B_r/B_m が小さい。このことから、本実験におけるアモルファスリボンの磁化特性を説明するためには、リボンの厚さ以外に急冷条件が関係するリボンの内部構造を考察することが必要となる。

次に、代表的な試料の磁区模様および直流ヒステリシス曲線を Fig. 6~10 に示す。これらは噴出圧力とロール回転数の組合せで、リボン厚さを 23-25 μm としたもので、先の Fig. 5 に対応する試料で観察したものである。Fig. 6 は $P_E=0.02$ MPa, $V_R=25$ s^{-1} の場合で、リボンの幅方向に揃ったストリェーションを持つ 180° 磁区と方向のずれた細かい磁区の混在であり、ヒステリシスは下降曲線に角ばりがある。Fig. 7 は $P_E=0.03$ MPa, $V_R=33.3$ s^{-1} の場合で、磁区模様は 180° 磁区を示すストリェーションが主であるが、写真に示したような迷路状磁区模様が混在する。ヒステリシスは下降曲線に角ばりがあって、下降と上昇曲線の飽和漸近性に差がある。Fig. 8 は $P_E=0.05$ MPa, $V_R=41.7$ s^{-1} の場合で、磁区模様は他のものほど鮮明でない。180° 磁区が大部分であるが、写真に見られるような湾曲し

Fig. 2 Relations between the rotation number V_R and the magnetization properties; B_{100} , B_{10} , B_1 , B_r/B_{10} , B_r/B_1 and H_c . t is ribbon thickness.

Fig. 3 Relations between the rotation number V_R and the magnetization properties; B_{100} , B_{10} , B_1 , B_r/B_{10} , B_r/B_1 and H_c . t is ribbon thickness.

Fig.4 Relations between the rotation number V_R and the magnetization properties; B_{100} , B_{10} , B_1 , B_r/B_{10} , B_r/B_1 and H_c . t is ribbon thickness.

たストリエーションが混在する。ヒステリシスは下降、上昇曲線とも角ばりはなく、滑らかであるが、飽和漸近性に差がある。Fig.9は $P_E=0.06$ MPa, $V_R=50$ s $^{-1}$ の場合で、磁区模様はリボンの幅方向に揃ったストリエーションのみで、良好な180°磁区である。ヒステリシス曲線は滑らかである。Fig.10は $P_E=0.08$ MPa, $V_R=58.3$ s $^{-1}$ の場合で、磁区模様はリボンの幅方向に揃ったストリエーションのみである。ヒステリシス曲線は滑らかで、保磁力は小さく、角型比も大きい。以上のように、同じリボン厚さでも、噴出圧力とロール回転数の組合せで磁区模様と磁化のヒステリシス曲線に特徴があらわれる。すなわち、 V_R が41.7 s $^{-1}$ より小さいとき、迷路状磁区や湾曲した磁区が発生すること並びに磁化におけるヒステリシス曲線の角ばり、上昇曲線と下降曲線の飽和漸近性の差、保磁力の増大などの事柄がある。しかし、 V_R が50 s $^{-1}$ より大きくなると、リボンはよく揃った180°磁区を持つようになり、ヒステリシス曲線も滑らかになる。

IV. 検討並びに考察

溶湯噴出の観察によれば、溶湯は回転するロールとノズル先端との間にパドルとなって滞留し、そこから回転方向にリボンが引き出され、遠心力で引張られてゆく様子が観測される⁽⁵⁾。噴出圧力およびロール回転数を変えるとパド

Fig.5 Relations between the rotation number V_R and the magnetization properties in the case of ribbon thickness 23-25 μ m. t is ribbon thickness.

ルの形が変化する。本実験のようにロールとノズル間隙を0.1-0.2 mmと接近させ、かつ、ノズル先端面積の広いスリットノズルを用いる片ロール法ではパドルはノズルに抑え込まれた形となる。その際のパドルは下流側にすそを曳いた赤熱部分を有するが、このようなパドルのロール回転方向の長さとはパドルから引き出された直後のリボン表面の温度の測定をTable 2に示す。なお、リボン表面温度は回転方向に引き出されるリボン上で、ノズル後方15 mm離れた位置を赤外線放射温度計で測定した値である。

Table 2 から回転数を増すとパドル長さ l は小さくなり、リボン表面温度 T が高くなるのがわかる。噴出圧力一定で回転数を変えるとリボンの厚さが変わるが、このときのリボン厚さに l が直接に関係している。 l およびリボン厚さが変れば、冷却速度が変わり、それがリボンに残留する内部歪を変えるので、磁化特性に影響を及ぼすことが考えられる。

溶湯急冷法によるアモルファスリボンの磁化特性に関するい一つの重要な問題は磁気異方性の発生である。アモルファス合金は結晶異方性がないことから、異方性の原因は磁歪を介した応力誘起異方性か、あるいは表面の凹凸や気泡などによる形状異方性のいずれかと考えられる。本研究で取上げた FeNiSiB 系アモルファス合金の磁歪係数は 35×10^{-6} 程度⁽⁷⁾であり、低磁歪を特徴とする Co 基アモル

Fig. 6 Magnetic domain patterns and DC hysteresis loop.

ファス合金⁽⁸⁾に比べると応力誘起異方性は大きい。また、磁性測定試料は急冷材であり、磁界中熱処理などにみられる誘導磁気異方性⁽⁹⁾は考慮する必要はない。急冷のままのアモルファスリボンは、Fig. 6~10 に示したように、その作製条件によって幾分の違いはあるが、その磁区構造は異方的であり、ヒステリシス曲線も大きい角型比を持つ。このような異方性の発生理由を考察する必要がある。

まず、本研究で取上げた Fe₇₃Ni₈Si₁₀B₉ アモルファス合金と異方性パーマロイの名で知られる結晶質 50Ni-Fe 合金⁽¹⁰⁾の磁化曲線の比較について述べる。Fig. 11 (a)は急冷のままのアモルファス合金、(b)は磁界中熱処理を施したアモルファス合金、(c)は熱処理を施した 50Ni-Fe 合金のそれぞれの直流ヒステリシス曲線である。磁化の飽和漸近性は 50Ni-Fe 合金が最もよく、急冷のままのアモルファス合金が最も劣る。アモルファス合金は磁界中熱処理によって飽和漸近特性が大幅に改良される。急冷のままのアモルファス合金は飽和漸近特性はよくないが、ヒステリシス曲線の角型比は大きい。一般に、結晶質材料では飽和漸近特性が悪ければヒステリシス曲線の角型比が小さいが、アモルファス材料ではそうっておらず、この点が結晶質材料とアモルファス材料の大きな違いとなっている。なお、焼鈍が不完全な結晶質材料では角型比の大きい場合があるが、そのときは保磁力も大きいのが普通であって、アモル

Fig. 7 Magnetic domain patterns and DC hysteresis loop.

ファス材料ほどの低保磁力は出現しない。このようなことから、急冷のままのアモルファスリボンは結晶質材料にない特異な磁化特性を持つということが出来る。

更に、急冷のままのアモルファスリボンの磁化特性について次のようなことがある。Fig. 5 に示したアモルファスリボンの厚さ一定の場合で、回転数 33.3-41.7 s⁻¹ のとき保磁力が大きく、磁区も迷路状や湾曲磁区が多くみられ、同時に回転数が小さいものほどヒステリシス曲線の第 2 象限の角ばりが著しい。しかしながら、磁化の飽和漸近特性については保磁力や磁区模様にもみられるような回転数依存は認められない。このようにアモルファスリボンの磁化特性について低磁場特性(保磁力、角型比など)と高磁場特性(飽和漸近特性)とで急冷条件の影響が違うことは興味深い。

Fe₇₃Ni₈Si₁₀B₉ アモルファス合金リボンにおける磁気異方性の発生原因として、リボンが急冷される過程でのインバー効果による体積膨張が関係していると推定している。すなわち、冷却途中で磁気変態を経験すると自発磁化の発生に伴う体積膨張⁽¹¹⁾があるが、リボンのロール面側と自由面側とで磁気変態点を挟んだ温度差があり、ロール面側が速く磁気変態点に達して、リボンの厚さ方向に圧縮応力が生じる。このような圧縮応力はリボン面を磁化容易面とする。

Fig.8 Magnetic domain patterns and DC hysteresis loop.

Fig.9 Magnetic domain patterns and DC hysteresis loop.

Fig.10 Magnetic domain patterns and DC hysteresis loop.

Table 2 The puddle size (l) and the ribbon surface temperature (T). P_E, V_R are, respectively, ejection pressure and rotation number.

No.	P_E (MPa)	V_R (s ⁻¹)	l (mm)	T (K)
6	0.05	25.0	4.7	680
7	0.05	33.3	4.8	690
8	0.05	41.7	4.2	720
9	0.05	50.0	3.5	740
10	0.05	58.3	2.7	780
16	0.03	33.3	4.3	700
17	0.06	50.0	3.8	740

リボン単位長さについての冷却ロールへの熱の放出 Q は $Q \propto K \cdot l \cdot l/v$ であるから (K : 熱伝達率, l : パドル長, v : ロール周速), Q は l^2 に比例し, v に反比例の関係にある. Q, l, v の3者の関係を Fig.12 に示す. l は中間的な v ($\approx 30 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$) で最大となるが, Q は v と反比例の関係にあるので, v に対して Q は単調に減少する. このことは Table 2 で, V_R が大きいとき, リボンの表面温度が高いこととも一致している. 噴出圧力とロール回転数の組合せでリボンの厚さを一定としたときでも, v が大きいと Q は小さいという関係は成立っており, 片ロール法による溶湯急冷リボンの作製において, これらのことは一般に成立つと考えられる.

Fig.13 に, 本合金の熱膨張特性を示す. 加熱過程で 688 K に小さな屈曲点があり, 775 K にするといピークがある. 688 K の屈曲点は磁気変態点 T_c に相当し, 775 K は結晶化点 T_x に相当する. $T_c - T_x$ の勾配は約 $12 \times 10^{-6} \text{ K}^{-1}$

Fig.11 Comparison between DC hysteresis loops of various magnetic cores.

- (a) Amorphous core as quenched.
 (b) Amorphous core after the magnetic annealing.
 (c) 50Ni-Fe core after annealing.

Fig.12 Relation between $l-v$, $Q-v$.

Q : sinking heat flow from the puddle to the roll.
 l : puddle length.
 v : circumferential speed of the roll.

であり、もし、自発磁化の発生がないと仮定すれば、リボンの冷却過程ではこの勾配に沿った熱収縮が考えられるが、実際は自発磁化の発生により 10^{-3} オーダの伸びがある。

厚さ方向に大きい温度差があれば、当然、熱的な応力も発生するが、これは温度差が大きければ大きい程激しい。これに対して冷却過程でのインバー効果による圧縮応力は中間的な温度差のときにその影響が強く現われると想像される。したがって、冷却ロールへの熱の放出が差程よくな

Fig.13 Thermal expansion of Fe₇₃Ni₈Si₁₀B₉ amorphous alloy.

いときに、リボン面内の磁気異方性の原因となるようなリボン厚さ方向の圧縮応力の発生は強いと考えられる。

Fig. 5 に示した噴出圧力 P_E と回転数 V_R の組合せでリボンの厚さを一定にした場合、 V_R が $33.3\text{--}41.7\text{ s}^{-1}$ でパドル長さ l が異常に大きい。 l が大きいとそれだけよく冷却されることになる。すなわち、このとき冷却速度が大きく、リボンの厚さ方向の温度差も大きい。この場合、リボンの厚さ方向の圧縮応力は小さく、リボン面内の磁気的異方性は弱いので、角型比は低下し、保磁力が増大するとして説明できる。また、Fig. 6, Fig. 7 などにみられる磁区模様はリボン面内からはずれた自発磁化の存在を示すものであり、上述の推論を裏付けている。しかし、磁区模様については、リボンの表面を化学エッチングで除去すると、Fig. 7 でみられたような迷路状磁区の大部分が消滅するという事柄がある。これに関して、アモルファスリボンの表面層⁽¹²⁾がリボンの残留歪に何らかの関係があるとみられるが、表面層がリボン形成時のパドル長さやリボンの冷却とどのようなつながりがあるのかは明確ではない。

V. 結 論

片ロール急冷法による Fe₇₃Ni₈Si₁₀B₉ アモルファスリボンの作製条件と磁化特性に関して次のことが明らかになった。

(1) アモルファスリボンの磁化特性は噴出圧力およびロール回転数によって変化する。一般的傾向として、回転数を大きくすると磁化の飽和漸近性が急峻で、保磁力が大きくなる。

(2) 噴出圧力とロール回転数の組合せで同じ厚さのリボンを作製した場合、回転数を大きくするリボンの長手方向の磁気的異方性が強まる。

(3) アモルファスリボンの磁区模様には、ロール回転数による特徴がみられる。回転数 $33.3\text{--}41.7\text{ s}^{-1}$ のとき、 180° 磁区に迷路状磁区が混在する。回転数 $50\text{--}58.3\text{ s}^{-1}$ では 180° 磁区が優勢である。

(4) アモルファスリボンのヒステリシス曲線に、ロール

回転数による特徴がみられる。回転数が小さいとき、下降曲線に角ばりがみられ、かつ、下降曲線と上昇曲線の飽和漸近性に差がある。

(5) ロール回転数 $33.3\text{--}41.7\text{ s}^{-1}$ のとき、角型比が小さく、保磁力が大きい。この場合、ノズルによる溶湯の抑え込み長さ(パドル長さ)が大きく、それだけリボンの冷却速度が大きくなっていることに対応している。

(6) 作製条件を変えたときのアモルファスリボンの磁化特性および磁区構造の特徴は、大筋として、リボンの急冷過程でのインパー効果によりリボンの厚さ方向の圧縮応力の強弱によって説明できることがわかった。しかし、作製時の雰囲気、あるいはリボン表面層の影響などについて未解明の事柄もあり、今後の研究課題と考えられる。

本研究は新技術開発事業団からの委託研究「電磁材料用アモルファス金属の製造」の一環として行なわれたものであり、終りに臨み、本研究の実施に当ってお世話になった関係各位に感謝の言葉を申し上げる。

文 献

- (1) F.E. Luborsky, J.J. Becker, P.G. Frischmann and L.A. Johnson: J. Appl. Phys., **49** (1978), 1769.
- (2) H.H. Liebermann and C.D. Graham, Jr.: IEEE Trans. Magn., **MAG-12** (1976), 921.
- (3) 八田 真一郎, 溝口 正: 日本金属学会会報, **19** (1980), 246.
- (4) 三寺正雄, 大沼繁弘, 渡辺 清, 増本 健: 日本金属学会講演概要, (1975・10月), 341.
- (5) 富田貞美, 鈴木秀夫: 日本金属学会誌, **48** (1984), 202.
- (6) G.C. Chi, H.S. Chen and C.E. Miller: J. Appl. Phys., **49** (1978), 1715.
- (7) T. Jagielinski, K.I. Arai, N. Tsuya, S. Ohnuma and T. Masumoto: IEEE Trans. Magn., **MAG-13** (1977), 1553.
- (8) M. Kikuchi, H. Fujimori, Y. Obi and T. Masumoto: Japan. J. Appl. Phys., **14** (1975), 1077.
- (9) F.E. Luborsky and J.L. Walter: IEEE Trans. Magn., **MAG-13** (1977), 953.
- (10) J.H. Crede and J.P. Martin: J. Appl. Phys., **20** (1949), 966.
- (11) K. Fukamichi and T. Masumoto: IEEE Trans. Magn., **MAG-15** (1979), 1405.
- (12) 富田貞美, 鈴木秀夫: 日本金属学会講演概要, (1984・4月), 328.