高透磁率 Ni-Fe 合金における Mn の効用*

佐藤 義信** 竹山 武司**

J. Japan Inst. Metals, Vol. 52, No. 1 (1988), pp. 126-127

Roles of Mn in High Permeability Ni-Fe Alloys

Yoshinobu Sato** and Takeshi Takeyama**

Keywords: high permeability nickel-iron alloy, manganese addition, nickel-iron-vanadium alloy, nickel-iron-molybdenum alloy, baking, short range ordering rate, permeability, saturation induction, electrical resistivity, magnetostriction

高透磁率 Ni-Fe 合金を溶製する際、主成分元素のほかに 0.3~0.7 mass% 程度少量の Mn が一般に添加される。これは、Mn が脱酸効果のほかに合金の展延性など加工性に悪影響を及ぼす硫黄の害を軽減する、非常に重要な役目をもっているからである⁽¹⁾。また、角形ヒステリシス特性をもつ異方性 50% Ni-Fe 合金に添加した場合には、2 次再結晶を阻止あるいは 2 次再結晶温度を高くする効果があることも報告されている⁽²⁾。著者らは Mn が従来主たる役割とされている脱酸・脱硫効果のほかに、高透磁率の高 Ni-Fe 合金において、高透磁率を達成するための低温熱処理による短範囲規則化⁽³⁾を促進する顕著な効果をもって、さらに適量の添加 Mn は磁性に対しても好影響をもたらすことを見出したので報告する。

実験試料は高純度の原料を用いて高透磁率組成の Ni-Fe-V 合金 (83 mass% Ni, 11 mass% Fe, 6 mass% V)⁽⁴⁾ および Ni-Fe-Mo 合金 (81.3 mass% Ni, 11.7 mass% Fe, 7 mass% Mo)⁽⁵⁾ に 0.5~3 mass% の Mn を添加したものを真空 (2×10^{-2} Pa) 中溶解鑄造 (溶解量 0.5 kg) した。なお Mn は真空溶解により減量し易く、成分分析結果では添加量の約 1/2 の値に減少した。鑄塊を熱間鍛造、圧延および 85% 以上の強冷間圧延して 0.2 および 0.025 mm の薄板に仕上げた。薄板から磁気特性、電気抵抗率、磁気歪みなどの測定用試料を採取して露点 213 K 以下の高純水素雰囲気中 1173 K (Ni-Fe-V 合金の場合) および 1373 K (Ni-Fe-Mo 合金の場合) の温度で 7.2 ks 間焼鈍した後、733 K でのベーキングによる低温熱処理を施した⁽⁴⁾。Fig. 1 は種々 Mn 量の Ni-Fe-V 合金について 0.2 mm 厚リング試料 (外径 45 mm, 内径 33 mm) で測定したベーキング時間による実効透磁率 μ_e ($f=1$ kHz) の変化を示したものである。図に明

らかなように、Mn 含有量によって高透磁率達成に必要なベーキング時間が非常に顕著に変化し、Mn 量の増加とともに大幅に短縮すなわち短範囲規則格子の生成速度が早くなる。Fig. 2 には種々 Mn 量の Ni-Fe-Mo 合金の 0.025 mm 厚リング試料で測定したベーキング時間による μ_e ($f=1$ kHz) の変化を示した。この合金の場合も明らかに Mn 量の増加とともに μ_e の最大となるべきベーキング時間が短時間側に移行する。またこの合金の場合は適量の Mn

Fig. 1 Change in effective permeability μ_e at exciting frequency 1 kHz with baking time at 733 K in 0.2 mm sheets of 83% Ni-11% Fe-6% V alloys containing different contents of Mn, annealed at 1173 K for 7.2 ks.

** 財団法人電気磁気材料研究所 (The Research Institute of Electric and Magnetic Alloys, 2 Yagiyama-minami, Sendai 982)

* 財団法人電気磁気材料研究所研究報告第 159 号

Table 1 Properties of Ni-Fe-V and Ni-Fe-Mo alloys containing different contents of Mn.

Alloy (mass%)	Mn content (mass%)	Baking time at 733 K* (h)	Static magnetic properties				μ_e (mH/m)	ρ ($\mu\Omega \cdot m$)	λ_s ($\times 10^{-6}$)
			B_m (T)	H_c (A/m)	μ_i (mH/m)	μ_m (mH/m)			
			$H_m=0.8$ kA/m		$H=0.2$ A/m		$f=100$ kHz	293 K	
83Ni 11Fe 6V	0.19	32	0.526	0.88	59.9	196.9	—	0.800	0.2
	0.40	24	0.527	0.80	63.2	315.8	—	0.805	0.1
	0.62	10	0.528	1.28	51.4	146.9	—	0.809	0.3
	1.32	1	0.529	2.00	32.2	81.9	—	0.824	0.4
81.3Ni 11.7Fe 7Mo	0.22	22	0.632	1.20	44.7	237.2	7.2	0.696	0.0
	0.45	20	0.631	0.80	73.1	347.2	7.5	0.704	0.0
	1.07	5	0.637	0.80	138.4	355.0	7.6	0.723	-0.8
	1.50	3	0.627	0.88	103.3	295.9	7.7	0.737	-0.9

* After annealing at 1173 K and 1373 K for Ni-Fe-V alloy(0.2 mm sheet)and Ni-Fe-Mo alloy(0.025 mm sheet), respectively.

Fig.2 Change in μ_e at exciting frequency 1 kHz with baking time at 733 K in 0.025 mm sheets of 81.3%Ni-11.7%Fe-7%Mo alloys containing different contents of Mn, annealed at 1373 K for 7.2 ks.

(約 1%)添加によって透磁率が大幅に向上している。Table 1 には種々量の Mn を含んだ両種合金を初透磁率 μ_i の最大値が得られる最適なベーキングを施した時の直流磁気特性、励磁周波数 100 kHz における μ_e 、電気抵抗率 ρ 、飽和磁歪定数 λ_s などの諸特性を示した。表からわかるように、両種合金ともに Mn 添加によって規則化が促進されるのみならず適量の Mn が磁性に好影響をもた

らすことが明白である。特に特徴的なことは Mn を 1.5 mass% 程度添加しても飽和磁気がほとんど低下しないことである。また Mn の添加とともに ρ が増加し、高周波磁気特性にも好影響をもたらしている。 λ_s は Mn 量とともにむしろ絶対値がやや増大する傾向が見られるが特に大きな変化ではない。各合金の結晶組織の観察結果では両種合金いずれも結晶粒度には Mn 量による差異はほとんど見られないが、Mn 量の多い合金試料程高密度の亜結晶粒組織が観察された。従って Mn 添加による規則化促進効果は恐らく原子拡散に関与する格子欠陥あるいは原子空孔密度の増加に起因するものと考えられるが明確な理由については明らかでない。

以上高透磁率 Ni-Fe 合金において Mn が短範囲規則格子の生成を促進させてしかも磁性に好影響をもたらす非常にメリットに富んだ添加効果をもつ元素であるという実用上極めて有用な知見を見出した。

文 献

- (1) R.M.Bozrth: *Ferromagnetism*, D.Van Nost-rand, New York, (1951), 23, 128.
- (2) 服部周三: 電気試験所研究報告, No.636, (1963), 26.
- (3) 長島富雄: 日本金属学会会報, 3(1964), 281.
- (4) 竹山武司, 佐藤義信: 日本金属学会誌, 48(1984), 754.
- (5) R.D.Enoch and A.D.Fudge: *Brit. J. Appl. Phys.*, 17(1966), 623.

(1987年7月22日受理)