

Ni-Mn 基多元合金の磁気的および電気的特性*

村 上 雄 悦**

Yuetsu Murakami : Magnetic and Electric Properties of Ni-Mn Base Polynary Alloys. The magnetic and electric properties of Ni-Mn base polynary alloys have been measured. The specimens investigated are Ni-Mn-Me-alloys with less than about 24% Mn, where Me represents V, Nb, Ta, Cr, Mo, W and/or Fe. The permeabilities depend remarkably on chemical composition and heat treatment. The alloy of 79.38% Ni, 8.51% Mn, 5.06% Fe, 3.02% Cr and 4.03% Mo, heated at 1150°C for 3 h and cooled from 650°C to room temperature, exhibits the maximum performance. The highest value of initial permeability is 121000, obtained by the cooling rate of 240°C/h, while the cooling rate of 100°C/h yields the highest value of maximum permeability 643000. In the latter case the coercive force is 1.3 mOe, the magnetic hysteresis loss 0.92 erg/cm³/cycle (for a maximum induction of 2000 G), the saturation induction 2510 G and the electric resistivity 84.7 $\mu\Omega$ -cm at 20°C.

(Received March 19, 1977)

1. 緒 言

著者は先に規則格子 Ni₃Mn の存在する Mn 約 24% 以下の Ni-Mn 系合金を高温度の水素中で加熱して、均質化および純化处理した後、規則 - 不規則格子変態点以下の温

度における適当な熱処理により、その規則度を調整すると、Mn 20.5% を含む合金が初透磁率 μ_0 が 24500 および最大透磁率 μ_m が 93000 の高い値が得られることを報告しておいた⁽¹⁾。その後、さらに Ni-Mn 系合金の特性を改善する目的で、結晶学的に対称性がよく、Ni-Mn 合金と同

** 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)

* 1969 年 10 月日本金属学会広島大会に発表; 財団法人電気磁気材料研究所研究報告第 103 号

立方格子を形成する V_a 族, V_b 族および Fe の各元素を選び, これらを Mn 約 24% 以下を含む Ni-Mn 系に添加した 3 元, 4 元および 5 元合金について, 組成および熱処理法と磁気的および電気的特性との関係を詳細に検討した。

II. 試料および実験方法

合金の原料は前報⁽¹⁾と同じ電解 Ni, 電解 Mn, 純度が 99.8% の V, Nb, Cr および純度が 99.9% の Ta, Mo, W, Fe である。また試料の製造法, 熱処理法および測定法も前報⁽¹⁾と同様であるので, ここでは省略する。なお, 試料は高透磁率を示した Mn 約 24% 以下の Ni-Mn 系に V が 9.7% 以下, Nb が 9.8% 以下, Ta が 14.6% 以下, Cr が 9.8% 以下, Mo が 12.6% 以下, W が 11.8% 以下および Fe が 24.2% 以下の量を添加した 3 元, 4 元および 5 元合金であり, 981 個の試料を用いた。

III. 実験結果および考察

1. Ni-Mn 基 3 元合金

Mn が約 24% 以下の Ni-Mn 系に V, Nb, Ta, Cr, Mo,

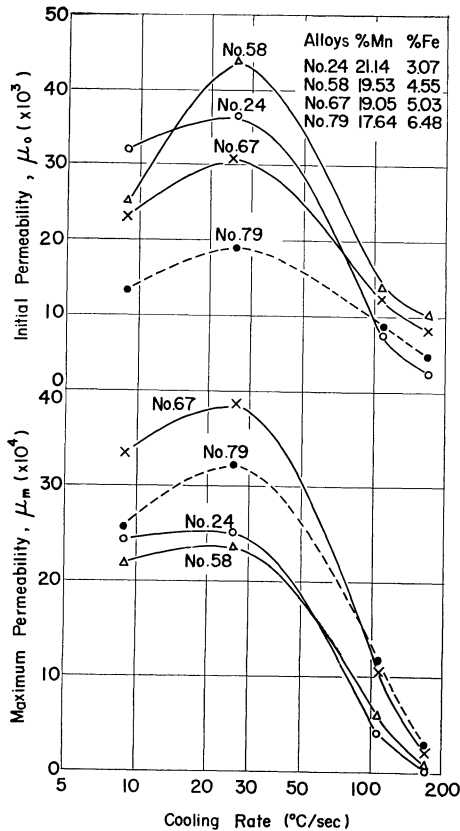


Fig.1 Initial and maximum permeabilities vs cooling rate. After heating at 1150°C for 3 h, about 76% Ni-Mn-Fe alloys are cooled at various rates from 650°C to room temperature.

Wあるいは Fe を添加した 3 元合金を水素雰囲気中において 1150°C, 3 h, 加熱して均質化熱処理した後, 650°C まで炉冷し, ついで種々な冷却速度で常温まで冷却した試料, あるいは, さらに規則格子変態点以下の種々な温度で加熱した試料などについて, 常温で諸特性を測定した。

Fig.1 には, Ni が約 76% を含む No.24 (21.14% Mn, 3.07% Fe), No.58 (19.53% Mn, 4.55% Fe), No.67 (19.05% Mn, 5.03% Fe) および No.79 (17.64% Mn, 6.48% Fe) の 4 種の Ni-Mn-Fe 合金について, μ_0 および μ_m と均質化熱処理後, 650°C からの冷却速度との関係が示してある。図から明らかなように μ_0 および μ_m は一般に冷却速度に対してそれぞれ 1 つの極大を示し, その最高値は No.58 および No.67 合金を 26°C/sec で冷却したとき, それぞれ $\mu_0=44000$ および $\mu_m=385000$ である。Fig. 2 は Fig.1 の同じ合金について, 650°C から 170°C/sec の速度で冷却した後, さらに 380°C で再加熱した場合の μ_0 および μ_m と加熱時間との関係を示す。 μ_0 および μ_m は, 一般に加熱時間に対して 1 つの極大を示し, その極大は Fe 量の増加とともに加熱時間の短い側に移動する。

Fig.3(a) および (b) には, それぞれ各試料につき均質化処理の後, 170, 107, 26, 9°C/sec と 100, 10°C/h の 6 種類の方法で常温まで冷却した試料, あるいは, さらに規則格子変態点以下の温度で再加熱して得た試料について測定した μ_0 および μ_m のうち最高の値を採って, 濃度に対し統

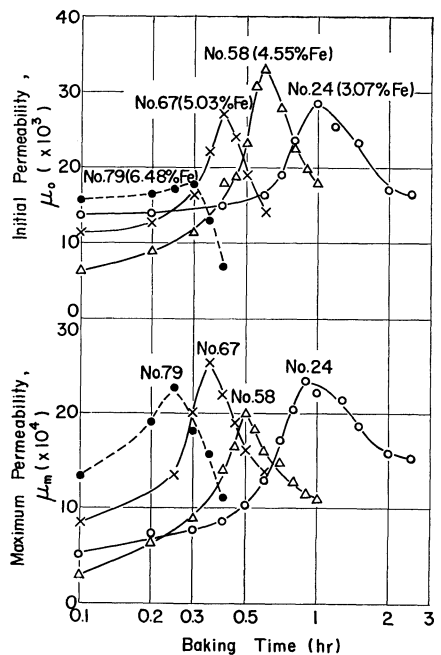


Fig.2 Initial and maximum permeabilities vs baking time. After heating at 1150°C for 3 h, about 76% Ni-Mn-Fe alloys are cooled at the rate of 170°C/sec from 650°C to room temperature and further baked at 380°C.

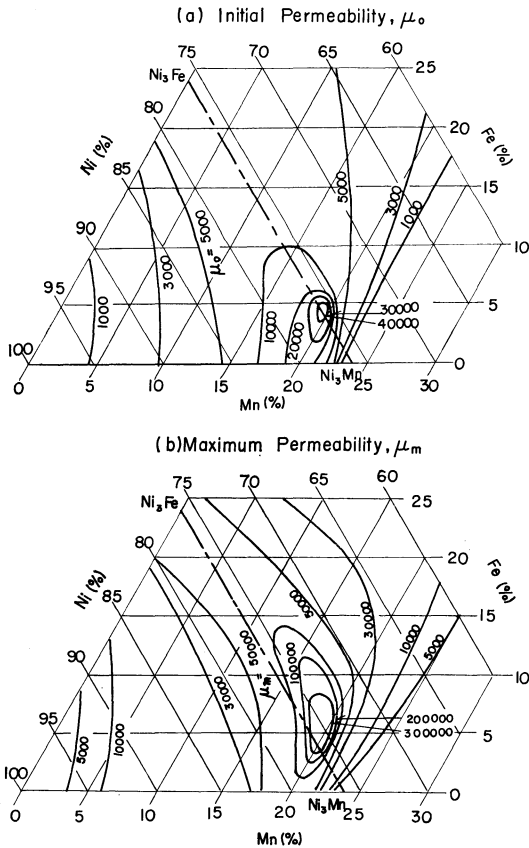


Fig. 3 Highest initial and maximum permeabilities vs composition. After heating at 1150°C for 3 h, Ni-Mn-Fe alloys are cooled at various rates from 650°C to room temperature or further baked at various temperatures.

計的に引かれた等値曲線が示してある。図から明らかなように μ_0 および μ_m は Ni_3Mn と Ni_3Fe を結ぶ $Ni_3(Mn, Fe)$ 線に沿って1つの山を成している。すなわち, Ni-Mn 2 元合金では Mn が 20.50% の濃度で $\mu_0=24500$ および $\mu_m=93000$ の最高値を示すが, これに Fe を添加すると, 一般に, それらの値は急激に増大し, Ni が 75.92%, Mn が 19.53%, Fe が 4.55% の組成で $\mu_0=44000$ および Ni が 75.92%, Mn が 19.05%, Fe が 5.03% の組成で $\mu_m=385000$ の最高値に達する。さらに Fe を増加すると μ_0 および μ_m は $Ni_3(Mn, Fe)$ の線に沿って, はじめは急速であるが, 後には漸次ゆるやかに減少してゆく。また, 一般に, Ni-Mn 合金に Fe を添加すると, 最適冷却速度は急激に増大する。すなわち, Fe が約 2% 以上になると, Ni が 78.5% を含む Ni-Fe 合金 (Permalloy) と同様に, 高透磁率を得るには空冷以上の速度で冷却することが必要であり, これは Fe 添加によって規則格子の生成が非常に速くなることによるものと考えられる。

つぎに, Fig. 4 には Ni が約 80% を含む No.107 (19.52% Mn, 1.44% Cr), No.118 (18.05% Mn, 1.97% Cr), No.131 (17.04% Mn, 2.53% Cr) および No.142 (16.51% Mn,

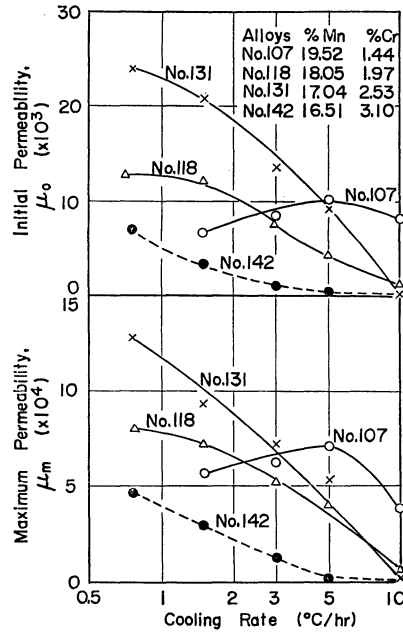


Fig. 4 Initial and maximum permeabilities vs cooling rate. After heating at 1150°C for 3 h, about 80% Ni-Mn-Cr alloys are cooled at various rates from 650°C to room temperature.

3.10% Cr) の 4 種の Ni-Mn-Cr 合金について均質化熱処理後の冷却速度に対する μ_0 および μ_m の変化が示してある。Cr 量の多い合金では 0.75°C/h のような非常に小さい速度で冷却しても, μ_0 および μ_m は最高値に達しない。よってこれらの合金の μ_0 および μ_m を出来るだけ大きくするためには高温から徐冷した後, さらに, 規則格子変態点以下の温度で再加熱して, その規則化を進める必要がある。Fig. 5 は Fig. 4 と同じ合金について均質化処理後 650°C から 10°C/h の速度で冷却した後, さらに, 400°C で再加熱した場合の μ_0 および μ_m と加熱時間との関係を示す。各合金は加熱時間に対して1つの極大を示し, Cr 量が多くなるにつれて, その極大値は加熱時間の長い方に移動する。すなわち Ni-Mn-Cr 系合金の最適冷却速度は極めて小さく, 高透磁率を得るには, 高温から徐冷後, さらに規則格子変態点以下の温度で長時間加熱することが必要であり, Cr の添加によって規則格子の生成が強く抑制されるものと考えられる。Fig. 6(a) および (b) には Ni-Mn-Cr 合金の各試料について均質化処理後種々な速度で冷却するか, あるいは, 合金によっては, さらに規則格子変態点以下の種々な温度で再加熱して, 常温で測定された μ_0 および μ_m のうち, 最高の値を採って組成に対して統計的にひかれた等値曲線が示してある。図から明らかなように Ni-Mn 系に Cr を添加すると, μ_0 および μ_m は, はじめは徐々に, 後には急速に増大して1つの極大に達し, ついで急激に減少する。その最高値は Ni が 80.43%, Mn が 17.04%, Cr が 2.53% からなる No.131 合金の $\mu_0=39200$,

Ni が 79.33%, Mn が 18.16%, Cr が 2.51% からなる No.135 合金の $\mu_m = 255000$ であり, Ni-Mn 2 元合金のそれらの値に比べて非常に大きくなっている。

Fig.7 には Ni-Mn 系に V が 2.5%, Nb が 3.5%, Ta が 5.0%, Cr が 2.5%, Mo が 4.0%, W が 4.3% あるいは Fe が 4.5% の量を, それぞれ添加した 3 元合金の各々に

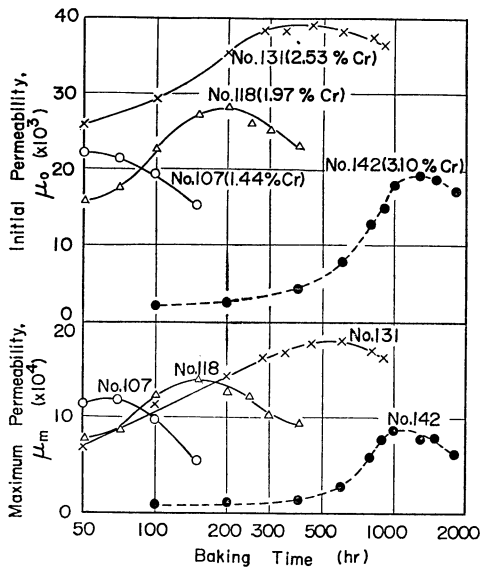
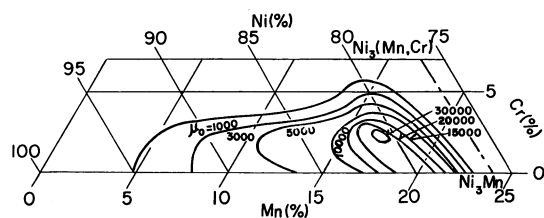


Fig.5 Initial and maximum permeabilities vs baking time. After heating at 1150°C for 3 h, about 80% Ni-Mn-Cr alloys are cooled at the rate of 10°C/h from 650°C to room temperature and further baked at 400°C.

(a) Initial Permeability, μ_0 .



(b) Maximum Permeability, μ_m

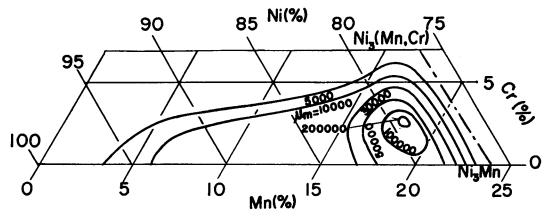


Fig.6 Highest initial and maximum permeabilities vs composition. After heating at 1150°C for 3 h, Ni-Mn-Cr alloys are cooled at various rates from 650°C to room temperature or further baked at various temperatures.

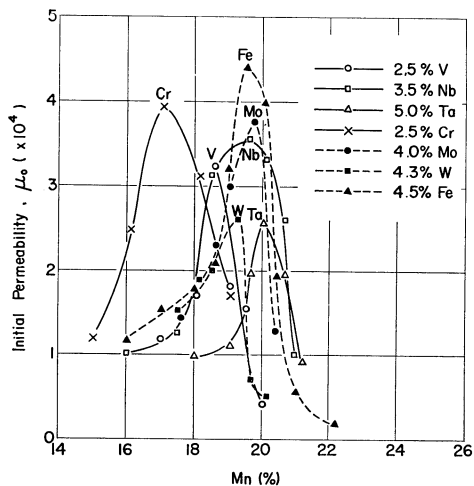


Fig.7 Highest initial permeability vs Mn content. After heating at 1150°C for 3 h, Ni-Mn-Me (Me : 2.5% V, 3.5% Nb, 5.0% Ta, 2.5% Cr, 4.0% Mo, 4.3% W or 4.5% Fe) ternary alloys are cooled at various rates from 650°C to room temperature or further baked at various temperatures.

ついて, 均質化熱処理を施した後, 種々な速度で冷却するか規則格子変態点以下の種々な温度で再加熱して得られた初透磁率の最高値が, Mn 濃度に対し, 一括して示してある。図から明らかなように一般に, 高い初透磁率は Mn が約 15~21% の範囲で得られ, その各合金系を通じての最高値は, Fe を 4.5% 添加した合金の 44000 である。そして一般に高い初透磁率は, $Ni_3(Mn, Me)$ (Me : V, Nb, Ta, Cr, Mo, W, Fe) 組成付近で適当な熱処理法によって得られるのである。

なお, 上述した 3 元合金の代表的な結果は, Table 1 に示してある。ここに, W_h は磁気履歴損失, B_r は残留磁束密度, H_c は保磁力でいずれも最大磁束密度 B_m に対する値, $4\pi I_{900}$ は有効磁場 900 Oe における磁束密度, ρ は比電気抵抗である。表で明らかなように Ni-Mn 系に V_a 族, VI_a 族および Fe などの元素を添加すると, いずれの合金系においても, その透磁率および $4\pi I_{900}$ が増大し, 比電気抵抗も一般に大きくなる。しかし最高の透磁率を得るための最適熱処理法としては, V, Nb, Ta, Cr, Mo および W などの添加の場合には, 一般に徐冷するか, あるいはさらに規則格子変態点以下の温度で長時間再加熱すること, また Fe 添加の場合には急冷することが必要で, 添加元素の種類および量によって著しく異なることがわかる。

2. Ni-Mn 基 4 元および 5 元合金

上述したように, Ni-Mn-Fe 系合金の場合には, 急冷によって非常に高い透磁率が得られ, また, Ni-Mn-Cr 系および Ni-Mn-Mo 系合金の場合には, 徐冷後, 規則格子変態点以下の温度で長時間再加熱することによって, 高い透磁率が得られることがわかった。よって, Ni-Mn-Fe

Table 1 Characteristic of typical Ni-Mn base polynary alloys.

Alloy No.	Composition (Rest Ni)			Cooling rate (°C/h)	Baking		μ_0	μ_m	W_h (erg/cm ³ /cycle)	B_r (G)	H_c (mOe)	B_m (G)	$4\pi I_{900}$ (G)	ρ ($\mu\Omega$ -cm, 20°C)
	Mn (%)	Additional elements (%)			Temperature (°C), Time (h)									
—	20.50	—	—	10	—	—	24500	72000	—	—	—	—	1650	—
—	20.50	—	—	10	400, 8	—	21700	93000	2.73	730	4.8	2000	2010	56.5
58	19.53	Fe 4.55	—	*26	—	—	44000	241000	—	—	—	—	—	—
67	19.05	Fe 5.03	—	*26	—	—	30800	385000	6.76	2910	5.0	5000	5350	68.5
131	17.04	Cr 2.53	—	10	400, 450	—	39200	179200	—	—	—	—	—	—
135	18.16	Cr 2.51	—	10	400, 900	—	27500	255000	8.24	2180	10.1	3000	4550	73.8
208	19.05	Mo 4.02	—	20	400, 600	—	22900	345000	26.82	3830	14.3	7000	8010	58.8
213	19.74	Mo 4.06	—	20	400, 700	—	37100	262000	—	—	—	—	—	—
287	19.03	W 4.32	—	20	380, 400	—	15200	191000	10.36	3200	8.5	5000	6230	58.7
287	19.03	W 4.32	—	20	400, 220	—	25800	175500	—	—	—	—	—	—
335	19.57	V 2.48	—	10	400, 50	—	32200	267000	—	—	—	—	—	—
335	19.57	V 2.48	—	10	400, 40	—	30500	315300	25.18	5630	10.5	7000	7640	55.3
420	19.63	Nb 3.64	—	20	440, 90	—	33700	482000	25.67	5250	10.5	7000	8180	50.4
420	19.63	Nb 3.64	—	20	440, 95	—	35500	368000	—	—	—	—	—	—
473	20.03	Ta 5.11	—	20	440, 45	—	12600	272500	24.28	4200	8.4	7000	7140	52.7
473	20.03	Ta 5.11	—	20	440, 49	—	25300	246300	—	—	—	—	—	—
		Fe (%)	Cr (%)	Mo (%)										
598	16.30	4.02	1.90	—	800	—	50200	228000	—	—	—	—	2960	72.3
613	13.52	4.08	3.34	—	240	—	78200	455100	1.92	1740	2.8	2000	2148	75.0
634	11.04	5.10	4.82	—	240	400, 10	65200	350000	2.16	1610	3.2	2000	2250	83.2
657	7.30	6.11	6.68	—	240	400, 200	47800	295000	—	—	—	—	2070	85.7
701	13.20	5.17	—	4.82	8000	—	51000	360000	1.47	1460	2.4	2000	2300	81.2
720	10.83	4.50	—	6.72	400	—	74200	387000	—	—	—	—	2020	87.6
746	10.83	4.50	—	6.72	240	—	52000	488000	1.43	1592	2.0	2000	2240	89.4
761	8.65	5.32	—	9.30	240	400, 40	71500	269000	—	—	—	—	1320	94.2
785	12.52	4.63	1.50	1.57	4600	—	32200	147000	4.12	1730	5.3	2000	3800	82.3
839	8.51	5.06	3.02	4.03	240	—	121000	336000	—	—	—	—	1580	85.1
839	8.51	5.06	3.02	4.03	240	400, 3	97000	628000	1.15	1200	1.5	2000	2070	85.0
839	8.51	5.06	3.02	4.03	100	—	104000	643000	0.92	1160	1.3	2000	2510	84.7
921	6.56	5.57	1.93	7.15	25	—	115000	290000	—	—	—	—	810	90.8
954	6.44	8.25	4.07	5.16	50	—	32000	158000	—	—	—	—	1950	91.6

* °C/sec.

系に Cr あるいは Mo を単独か、あるいは同時に添加して 4 元あるいは 5 元合金を造れば、均質化熱処理後、単に徐冷、例えば炉中冷却によって高い透磁率が得られるはずである。これは、工業的に重要な事柄なので、さらに実験を進めることにした。その結果によると、Ni-Mn 基 4 元および 5 元合金における熱処理法と磁気的および電気的特性との関係は、ほぼ類似しているのので、4 元合金については、ただ単に Table 1 に代表的結果のみを掲げることとし、次には、5 元合金について詳述することにした。

Fig. 8 には、Ni が約 79% で種々な Fe, Cr および Mo 量を含む No.785 (4.63% Fe, 1.50% Cr, 1.57% Mo), No.802 (5.15% Fe, 1.88% Cr, 3.06% Mo), No.839 (5.06% Fe, 3.02% Cr, 4.03% Mo) および No.921 (5.57% Fe, 1.93% Cr, 7.15% Mo) の Ni-Mn-Fe-Cr-Mo 5 元合金について、水素雰囲気中で 1150°C, 3 h の均質化処理を施した後、650°C から冷却した場合の、冷却速度による μ_0 および μ_m の変化が示してある。いずれの曲線においても、透磁率は冷却速度に対して 1 つの極大を示し、その極大に相当する冷却速度は、Cr および Mo 量の増加とともに漸次小さくなる。そしてその最高値は Fe が 5.06%, Cr

が 3.02% および Mo が 4.03% を含む No.839 合金を、240°C/h の速度で冷却したときの $\mu_0 = 121000$ および 100 °C/h のときの $\mu_m = 643000$ である。また、Fig. 9 には Fig. 8 と同じ合金について、650°C から 240°C/h の速度で冷却した後、さらに 400°C で再加熱した場合の、 μ_0 および μ_m と加熱時間との関係が示してある。一般に、Cr および Mo 量の多い No.785 および No.802 合金は、加熱時間とともに単調に減少するが、Cr および Mo の総量の多い No.839 および No.921 合金は加熱時間に対して 1 つの極大を示し、Cr および Mo の総量が多くなるにしたがい、その極大は加熱時間の長い側に移動する。さらに、Fig. 10(a) および (b) には Cr が約 2.9% および Mo が約 4.1% を含む Ni-Mn-Fe-Cr-Mo 合金のおのおのについて、上記と同じ均質化熱処理の後、650°C から種々な速度で常温まで冷却するか、あるいはさらに規則格子変態点以下の温度で再加熱して常温で測定された μ_0 および μ_m のうち最高の値を採って、組成に対して統計的にひかれた等値曲線が示してある。図から明らかのように、 μ_0 および μ_m は Fe の量の増加とともに、はじめ徐々に、後には急速に増大するが、1 つの極大を経た後は緩やかに減少する。

そして、ここには図示していないが、多くの実験結果によると、最高の μ_0 および μ_m を示す組成は Cr および Mo の総量の増加とともに、Fe 量の多い方に移動する。その最

高値はすでに上述しておいたように、Ni が 79.38%、Mn が 8.51%、Fe が 5.06%、Cr が 3.02%、Mo が 4.03% からなる No.839 合金の $\mu_0=121000$ および $\mu_m=643000$ で、Ni-Mn-Fe 系 3 元合金の最高値の $\mu_0=44000$ および $\mu_m=385000$ より著しく大きく、Supermalloy (Ni-Fe-Mo 合金) に匹敵する。Fig. 11 には、 μ_m の最高値を現わす No. 839 合金について磁化および磁気履歴曲線が示してあり、 $B_m=2000$ G に対する H_c は 1.3 mOe で、 W_h は 0.92 erg/cm³/cycle で、極めて小さい。なお Table 1 には代表的な 5 元合金の磁気的および電気的特性が示してある。一般に、Ni-Mn-Fe-Cr および Ni-Mn-Fe-Mo 4 元合金ならびに Ni-Mn-Fe-Cr-Mo 5 元合金において、Cr 量および Mo 量を増加すると、最適冷却速度は小さくなり、且つ透磁率は Ni-Mn-Fe 3 元合金より著しく増大する。一方、 $4\pi I_{900}$ は Cr および Mo 量の増加によって減少するが、 ρ は増大する。

要するに、Ni-Mn 基に V_a 族、V_b 族および Fe など

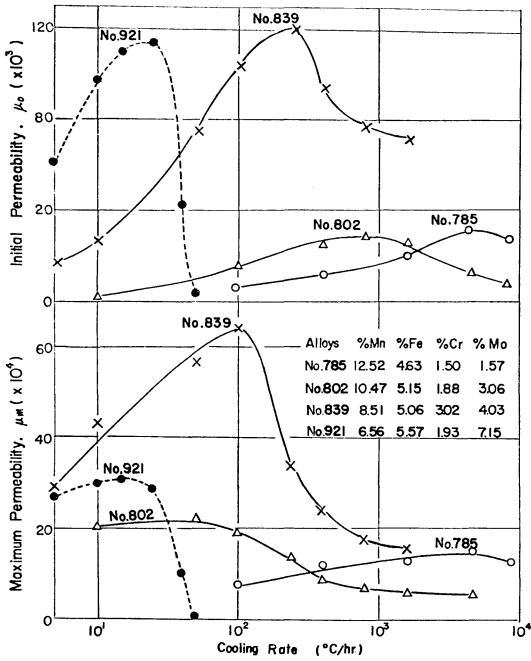


Fig.8 Initial and maximum permeabilities vs cooling rate. After heating at 1150°C for 3 h, about 79% Ni-Mn-Fe-Cr-Mo alloys are cooled at various rates from 650°C to room temperature.

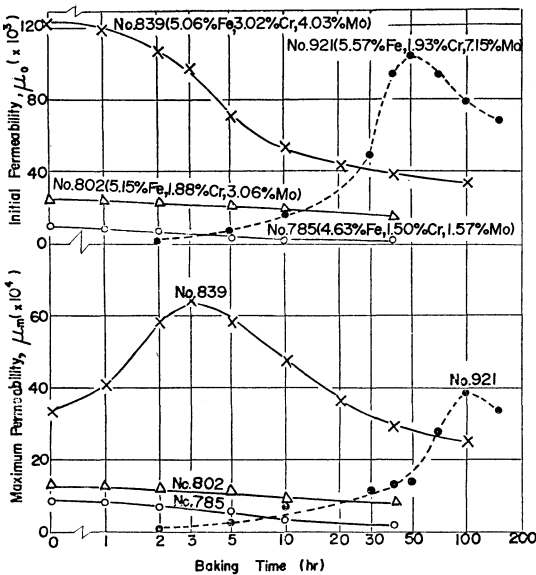


Fig.9 Initial and maximum permeabilities vs baking time. After heating at 1150°C for 3 h, about 79% Ni-Mn-Fe-Cr-Mo alloys are cooled at the rate of 240°C/h from 650°C to room temperature and further baked at 400°C.

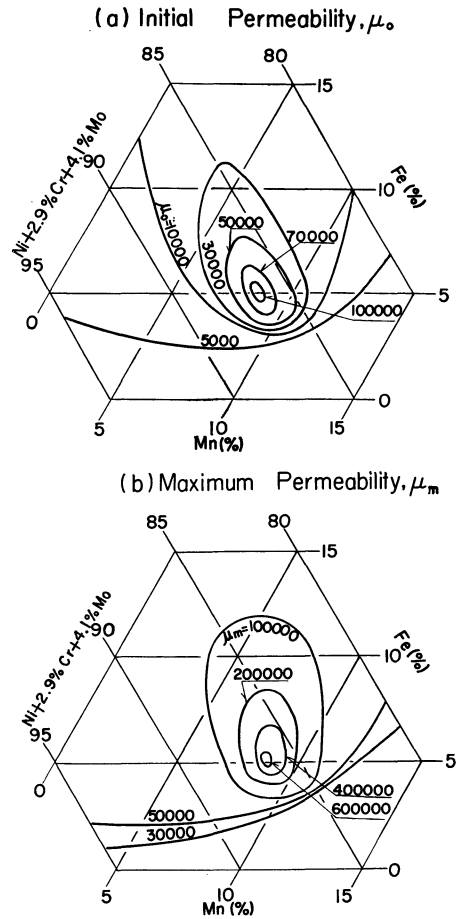


Fig.10 Highest initial and maximum permeabilities vs composition. After heating at 1150°C for 3 h, Ni-Mn-Fe-Cr-Mo alloys are cooled at various rates from 650°C to room temperature of further baked at various temperatures.

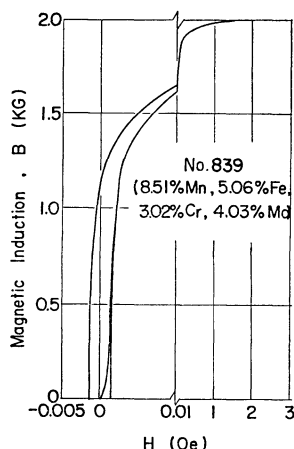


Fig. 11 Magnetization and hysteresis curves of No. 839 alloy cooled at 100°C/h from 650°C after heating at 1150°C for 3 h.

を添加した3元、4元および5元合金に、先ず高温の水素中で純化および均質化熱処理を施して、面心立方格子の1次固溶体からなる均一な組織とした後、急冷するか、徐冷するか、あるいはさらに規則格子変態点以下の温度において再加熱すると、高い透磁率が現われることがわかった。その原因はすでに前報⁽²⁾⁽³⁾から明らかなように適当な熱処理によって適度な規則状態が実現し、磁壁移動が容易に行われることによるものと考えられる。これらの合金は鍛造、熱間および冷間加工がきわめて良好で、容易に薄板にすることが出来るので、弱磁界における磁性材料としても、その応用が考えられる。

IV. 総括

Mn が約 24% 以下を含む Ni-Mn 基に Va 族, VIa 族あるいは Fe などの元素を添加した 3 元、4 元および 5 元合金をアルゴン雰囲気中で溶解し、熱間および冷間加工によって製造した試料につき、1150°C の水素中で 3 h 加熱した後、規則 - 不規則格子変態点以上の温度から種々な速度で冷却するか、あるいはさらに規則格子変態点以下の種々な温度で再加熱して、常温における磁気的および電気的特性を測定し、つぎの結果を得た。

(1) Ni-Mn 基に V, Nb, Ta, Cr, Mo, W あるいは Fe を添加した各 3 元合金の透磁率は $Ni_3(Mn, Me)$ (Me: V,

Nb, Ta, Cr, Mo, W, Fe) の組成付近で、組成に対応した適当な熱処理法によって高い値が得られる。すなわちその最高値は V, Nb, Ta, Cr, Mo, W 添加の場合には徐冷した後、規則格子変態点以下の温度で再加熱することによって得られ、Fe 添加の場合には、急冷することによって得られる。

(2) Ni-Mn-Fe 系に Cr および Mo を単独かあるいは同時に添加した 4 元および 5 元合金においては、Cr および Mo 量の増加とともに、最適冷却速度は減少し、透磁率は著しく増大する。初透磁率 μ_0 の最高値は No. 839 合金 (79.38% Ni, 8.51% Mn, 5.06% Fe, 3.02% Cr, 4.03% Mo) を 1150°C の水素中で 3 h 加熱した後 650°C から 240°C/h の速度で冷却したときの 121000 であり、最大透磁率 μ_m の最高値はその合金を 100°C/h の速度で冷却したときの 643000 である。

(3) Ni-Mn 基に V, Nb, Ta, Cr, Mo, W あるいは Fe を添加した各 3 元合金の 900 Oe における磁束密度 $4\pi I_{900}$ はいずれも Ni-Mn 2 元合金より著しく大きい。Ni-Mn-Fe 系に Cr および Mo を添加した 4 元および 5 元合金では Cr および Mo 量の増加とともに小さくなる。また、一般に比電気抵抗 ρ は各系合金とも比較的大きい。 μ_m の最高値を示す No. 839 合金の $4\pi I_{900}$ は 2510 G、最大磁束密度 2000 G に対する保磁力は 1.3 mOe、磁気履歴損失は 0.92 erg/cm³/cycle で、 ρ は 84.7 $\mu\Omega$ -cm である。

(4) 高透磁率を現わすこれらの合金は、鍛造、熱間および冷間加工が極めて容易である。

終りに、本研究の遂行にあたり懇切なる御指導、御助言を賜った東北大学工学部教授金子秀夫博士、平野賢一博士、東北大学名誉教授、電気磁気材料研究所所長増本量博士、および嘱託斎藤英夫博士ならびに試料の製造測定に御協力下さった本研究所の各氏に対し深く感謝の意を表す。

文 献

- (1) 村上雄悦：日本金属学会誌, 35(1971), 1046; Trans. JIM, 14(1973), 189.
- (2) 村上雄悦：日本金属学会誌, 36(1972), 263; Trans. JIM, 16(1975), 333.
- (3) 増本量, 村上雄悦, 中村直司：日本金属学会誌, 36(1972), 268; Trans. JIM, 16(1975), 341.