Ni-Fe-Ta 系合金の磁気的特性について*

増本 量** 村上雄悦** 比内正勝**

Hakaru Masumoto, Yûetsu Murakami and Masakatsu Hinai : Magnetic Properties of Ni-Fe-Ta Alloys. Magnetic properties, electrical resistivity and hardness of vacuum-melted Ni-Fe-Ta alloys composed of 65.00~83.65% Ni, 8.00~24.70% Fe and 3.20~23.90% Ta were measured when heated in pure hydrogen atmosphere at 1150°C for 3 hr and then cooled at various rates. The results showed that the addition of Ta brought about considerable improvements of these characteristics of Ni-Fe alloys. The highest values of 57300 in initial permeability and 428000 in maximum permeability were obtained on an alloy composed of 73.00% Ni, 12.05% Fe and 14.95% Ta when cooled from a temperature above the order-disorder transformation points at a rate of 800°C/hr. The coercive force and the intrinsic magnetic induction of the alloy were 0.0052 Oe ($B_m=5000$ G) and 7420 G ($H=1000$ Oe), respectively; its electrical resistivity and Vickers hardness were 64.3 $\mu\Omega$ -cm and 197, respectively.

(Received September 18, 1971)

I. 緒 言

著者らはさきに Ni-Fe 系の規則格子 Ni_3Fe が存在する組成範囲の合金に Nb 約 14% 以下を添加して、その磁気特性を研究した。その結果、Ni 79.56%, Fe 12.04% および Nb 8.40% からなる合金および Ni 79.62%, Fe 11.05% および Nb 9.33% からなる合金を高温から徐冷すると、それぞれ初透磁率 42300 および最大透磁率 179000 の最高値が得られ、磁性が非常に改善されることがわかった⁽¹⁾。

本報ではさらに進んで Ni-Fe 系合金に Nb と同じ Va 族に属する Ta を添加して、その磁気特性を研究した。

II. 試料および実験方法

合金の原料は前報⁽¹⁾の場合と同じ純度の電解 Ni および電解 Fe ならびに 99.9% 純度の金属 Ta であった。試料を造るには、まず全重量 800 g を真空中で高周波誘導電気炉によって溶かしたのち、直径 25 mm、長さ 170 mm の孔をもつ鉄型に注入し、得られた鋳塊を鍛造、圧延によって 0.3 mm の薄板とした。それより内径 36 mm、外径 44 mm の環状板を打抜き、それを露点 -70°C 以下の純水素気中で 1150°C、3 hr 加熱した後規則格子変態温度以上から、種々の速度で常温まで冷却して試料とした。試料の数は Ni 65.00~83.65%, Fe 8.00~24.70% および Ta 3.20~23.90% の組成範囲の合金 58 種であるが、特性の測定法は前報⁽¹⁾と同様であるのでここには省略する。

III. 実験結果および考察

実験結果は Figs. 1~5 および Table 1 にまとめてある。Fig. 1 および Fig. 2 には露点 -70°C 以下の純水素気中で 1150°C、3 hr 加熱した後、規則格子変態点以上の温度から 26° および 9°C/sec、8100°, 2800°, 800°, 400°, 240°, 100° および 50°C/hr の 9 種類の速度で常温まで冷却した Ni-

Fig. 1 Highest initial permeability μ_0 in each of Ni-Fe-Ta alloys cooled at various rates from a temperature above the order-disorder transformation point

** 財団法人電気磁気材料研究所 (The Foundation; The Research Institute of Electric and Magnetic Alloys, Sendai)

* 1970 年 10 月本会尼崎大会に一部発表; 財団法人電気磁気材料研究所研究報告第 61 号

(1) 増本, 村上, 比内: 金属学会誌, **35** (1971), 985.

Fe-Ta 系合金のおおのについて、20°C で測定された初透磁率 μ_0 および最大透磁率 μ_m のうち最大値をとり、組成に対してひかれた等値曲線が示してある。図に見るように Ni-Fe 系合金の μ_0 および μ_m は Ta の添加とともに、漸次増大して最高値に達し、その後は急速に減少する。そして得られた最高値は Ni 73.00%, Fe 12.05% および Ta 14.95% からなる合金 No. 34 の $\mu_0 = 57300$ および $\mu_m = 428000$ で、この値は真空中で溶解後、純水素気中で 1150

Fig. 2 Highest maximum permeability μ_m in each of Ni-Fe-Ta alloys cooled at various rates from a temperature above the order-disorder transformation point

°C, 3 hr 加熱の後、強制空冷した Ni-Fe 2 元系合金の最高値 $\mu_0 = 8000$ および $\mu_m = 120000$ に比較して非常に大きい。

つぎに測定した 58 種の合金のうち代表的なものを選び、その磁氣的、電氣的性質および硬度を掲げると Table 1 のようになる。ここで W_h は磁気履歴損失、 H_c は保磁力、 $4\pi I_{1000}$ および λ はそれぞれ 1000 Oe の有効磁場における内部磁束密度および磁気歪み常数、 ρ は比電気抵抗および Hv は荷重 500 g におけるビッカース硬度である。表からわかるように Ni-Fe 系に Ta を添加すると、その磁性が非常

Fig. 3 Effect of cooling rate on initial permeability μ_0 and maximum permeability μ_m for alloys Nos. 10, 25, 34 and 40

Table 1 Characteristics of typical Ni-Fe-Ta alloys

Alloy No.	Composition (Rest Ni)		Cooling rate (°C/hr)	μ_0 ($\times 10^2$)	μ_m ($\times 10^3$)	W_h (erg/cm ³ /cycle)	B_r (G)	H_c (Oe)	$4\pi I_{1000}$ (G)	λ ($\times 10^{-6}$)	ρ ($\mu\Omega$ -cm, 20°C)	Hv (Vickers hardness)
	Fe (%)	Ta (%)										
	20.50	—	80°C/sec	58	120	36.4	4600	0.0225	—	—	—	127
4	16.85	5.65	400	133	137	—	—	—	—	—	38.5	—
8	15.90	8.66	2800	108	122	30.3	3980	0.0190	9310	1.40	43.1	160
10	14.96	9.57	800	113	210	20.2	4400	0.0124	8480	1.05	—	157
15	13.96	10.62	240	151	161	21.7	4100	0.0126	—	—	—	173
16	14.53	10.67	9°C/sec	232	155	20.6	3700	0.0137	8200	1.05	51.2	161
16	14.53	10.67	2800	181	198	19.9	4230	0.0127	8100	1.22	52.1	—
23	13.40	11.60	9°C/sec	233	204	18.4	3830	0.0117	7650	0.70	55.1	165
23	13.40	11.60	800	146	249	19.8	4600	0.0110	7750	0.70	54.9	—
24	13.97	11.65	2800	226	171	16.1	3930	0.0133	7830	1.40	55.2	173
24	13.97	11.65	800	173	206	14.9	4280	0.0126	7970	1.05	55.4	—
25	13.00	12.80	2800	266	250	14.8	3750	0.0092	7730	—	61.2	182
25	13.00	12.80	800	266	238	16.6	3750	0.0101	7730	—	61.6	—
30	13.39	13.88	800	222	153	19.5	3400	0.0129	7670	—	—	185
31	12.80	13.80	800	266	210	13.6	3060	0.0081	7390	0.70	63.4	193
31	12.80	13.80	400	222	256	13.6	3350	0.0079	7390	0.70	64.1	—
33	12.49	14.50	800	332	204	14.5	3330	0.0105	—	—	—	—
34	12.05	14.95	800	573	428	8.0	3430	0.0052	7420	0.52	64.3	197
34	12.05	14.95	400	399	337	9.8	3510	0.0063	7420	0.52	65.2	—
39	11.88	15.90	400	302	110	18.7	2550	0.0137	6820	0.70	71.8	220
40	11.60	15.40	400	479	336	9.2	3200	0.0059	—	—	70.7	207
47	11.10	16.50	2800	266	209	14.7	3490	0.0096	6440	0.35	74.7	210
47	11.10	16.50	800	433	173	15.7	2050	0.0069	6440	0.35	75.4	—
49	9.82	17.76	2800	246	53	17.5	1350	0.0130	—	—	—	203
50	11.05	17.65	2800	160	130	20.2	3020	0.0147	6040	0.70	78.6	217
53	9.61	20.99	400	40	22	—	—	—	5250	-0.35	—	—
54	10.00	20.86	240	67	22	—	—	—	5030	0.00	100.7	270

に改善されるばかりでなく、 ρ および H_v はかなり大きくなる。なお Ta 量の比較的多い合金において、 ρ が冷却速度の大きいときより小さいときの方が若干大きくなっているのは、短範囲規則格子の生成によるものと考えられる。

さらに Fig. 3 には代表的な合金 No. 10, No. 25, No. 34 および No. 40 の 4 種の Ni-Fe-Ta 系の各合金について、冷却速度による μ_0 および μ_m の変化が示してある、 μ_0 および μ_m は一般に冷却速度に大きく依存して一つの極大を示し、その極大値は Ta 量の増加とともに増大して最高値に達し、その後は急速に減少する。また μ_0 および μ_m の極大値に相当する冷却速度は一般に Ta 量が多いほど漸次小さくなる傾向にある。Fig. 4 には各合金に μ_m の最大値を現わす熱処理を施して得られた $4\pi I_{1000}$ および ρ と組成との関係が示してある。一般に Ta 量の増加により ρ は急速に増大し、 $4\pi I_{1000}$ は急速に減少する。Fig. 5 には μ_0 および μ_m の最高値を現わした合金 No. 34 の磁気履歴曲線が示してあり、 H_c および W_h が非常に小さい。

Fig. 4 Electrical resistivity ρ and intrinsic magnetic induction $4\pi I_{1000}$ in an effective field of 1000 Oe in Ni-Fe-Ta alloys heat-treated to develop the highest maximum permeability

なお従来一般に高透磁率合金の λ は非常に小さいことが知られておるが、Ni-Fe-Ta 系合金においても Table 1 に見るように高透磁率を示す合金の λ は非常に小さい。

Fig. 5 Hysteresis curve of alloy No. 34 (73.00% Ni, 12.05% Fe, 14.95% Ta) cooled at a rate of 800°C/hr

IV. 総 括

Ni 65.00~83.65%, Fe 8.00~24.70% および Ta 3.20~23.80% の組成範囲からなる Ni-Fe-Ta 系合金 58 種について、露点 -70°C 以下の純水素気中で 1150°C , 3 hr 加熱の後規則格子変態点以上の温度から、種々の速度で冷却して、磁性、比電気抵抗および硬度を測定して次の結果を得た。

(1) Ni-Fe-Ta 系合金の初透磁率および最大透磁率は一般に冷却速度に大きく依存して一つの極大を示し、その極大値に相当する冷却速度は Ta 量の増加とともに漸次小さくなる。

(2) Ni-Fe 系合金の初透磁率および最大透磁率は Ta の添加とともに増大して最高値に達し、その後は急速に減少する。得られた最高値は Ni 73.00%, Fe 12.05%, および Ta 14.95% からなる合金 No. 34 を、規則格子変態点以上の温度から 800°C/hr の速度で冷却したときのそれぞれ 57300 および 428000 で、またその最大磁束密度 5000 G に対する保磁力は、0.0052 Oe、履歴損失は 8.0 erg/cm^3 である。

(3) 有効磁場 1000 Oe における磁束密度は Ta 量とともに単調に減少するが、 800°C/hr の速度で冷却した合金 No. 34 では 7420 G である。

(4) 比電気抵抗およびピッカース硬度は Ta 量とともに急速に増大し、 800°C/hr で冷却した合金 No. 34 ではそれぞれ $64.3 \mu\Omega\text{-cm}$ および 197 である。かように、Ni-Fe-Ta 系合金の硬度は大きい、常温、高温における鍛造、圧延などの加工は容易である。