等 方 性 Alnico 磁 石 の 磁 歪*

藤 原 達 雄** 加 藤 哲 男**

T. Fujiwara and T. Kato: Magnetostriction in Isotropic Alnico Magnet.
Magnetostriction in isotropic Alnico magnet was studied by the of strain-gauge method. The results obtained were as follows: An increase in Co generally causes an increase in magnetostriction, except in some cases of heat-treatment. In the measurement of magnetostriction dependent upon Ni content for a basic material, an unusual change which was not correspondent to the change of magnetic properties was detected. The change of magnetostriction due to aging-treatment is not simple. However it is supposed from these results that there is in all probability another mechanism which was confirmed for anisotropic magnet, Alnico 5, by the authors in the precipitation in isotropic Alnico magnet, too.

(Received February 7, 1961)

I. 緒 言

異方性の Alnico 5 磁石の磁歪を先に測定⁽¹⁾⁽²⁾したが、その結果二三の新しい理解が得られた。そして、Alnico 5 に

** 大同製鋼株式会社研究所

* 1960 年 10 月本会札幌大会に発表

(1) 藤原, 加藤: 本誌, **24**(1960), 773.

(2) 藤原, 加藤: 本誌, **25**(1961), 216.

において最も優れた特性の得られる 600° 附近の時効では、規則格子とも思われるある一つの準安定な状態が達せられるものの如くである。またこれまでの研究結果^{(3)~(6)}から、600° 附近の時効では未だ析出は起つておらず、完全な析出は 650° 附近の温度から始るものであることも推定された。

ところで等方性 Alnico 磁石の場合、Co 成分の変化

に伴う熱処理による磁性の変化の状況⁽⁷⁾⁽⁸⁾を観察すると、やはり Alnico 5 の場合と同様に析出以外の機構も存在することが予想される。このような状況について調べることを主な目的とし、その他の研究および製造上の資料を得る目的も含め、種々の等方性 Alnico 磁石の磁歪を測定することとした。測定はすでに報告⁽¹⁾した如き歪抵抗線の方法⁽⁹⁾⁽¹⁰⁾で行った。

II. Co 成分による磁歪の変化

Fig.1 は Al 10%, Ni 22%, Cu 4%, Ti 1%, 残部鉄の

Fig.1 Change of magnetic properties dependent on the Co content in isotropic Alnico magnet. Composition: Al 11%, Ni 22%, Cu 4%, Ti 1% Fe Bal.

成分に対し、Co 成分を 0~15% に変化した場合の磁性の変化を示している。この結果から著者らは先に⁽⁸⁾ Co 成分の増加に従って時効の効果が増大し、600° 再時効による磁性の向上も認められるようになることを知ったのであるが、これに対応させて磁歪を測定した結果が Fig.2 である。いずれも溶体化は 1000° で行い後空冷してある。まず飽和磁歪は総体的に Co 成分の増加に従って増大している。磁歪と磁場の強さとの比の最大値 $(\lambda/H)_{\max}$ は磁歪曲線の立上りの状況を見るために取った値で、単一磁区の場合、磁化の回転の難易を表わす目安になると考えられるが、これも Co 成分に従って増大している。これらの結果に対し、溶体化処理後の時効による変化は、Alnico 5 における結果⁽²⁾から推定して 650°, 4 時間の時効およびその後の 600°, 4 時間の時効によってそれぞれ磁歪は総体的に順次低くなることを予想した。しかし Fig.2(a) の結果は

(a) Composition: Al 11%, Ni 22%, Cu 4%, Ti 1% Fe Bal.

(b) Composition: Al 11%, Ni 22%, Cu 4%, Ti 1% Fe Bal.

Fig.2 Change of magnetostriction dependent on the Co content in isotropic Alnico magnet.

Co 成分による磁歪曲線の変化を示す一例として溶体化後

Fig.3 Change of magnetostriction curve dependent on the Co content in isotropic Alnico magnet air-cooled after solution heating. Composition: Al 11%, Ni 22%, Cu 4%, Ti 1%, Fe Bal.

これに反した。これについてはあとで言及される如く、650°C, 4 時間の時効において、Co 6% 以下ではすでに磁性上からみて過時効の状態であり、9% 以上ではまだそうなっていないという不均衡な時効条件が主な原因ではないかと想像されたので、Co 9% 以上の成分に対し 650°C, 16 時間の時効を行い、その後 600°C, 4 時間の再時効を行ったところ Fig.2(b) の如くになった。略々予想の通りである。Fig.3 は

空冷処理したままの状態での測定結果を示したものであるが、低磁場の側において、Co 3% および 6% に対する磁歪曲線が他の曲線と交叉しているのが見られる。これについては後で考察される。

Fig. 4 Change of magnetostriction dependent on the Co content in isotropic Alnico magnets, cooled at three cooling rates after solution heating. Composition: Al 11%, Ni 22%, Cu 4%, Ti 1%, Fe Bal.

ことができないが、大きい Co 成分に対する速い冷却においては析出が起らなくなるものと推定されるので、それとの関連が考えられる。全体的に熱処理により変化はやや複雑であるといえる。

III. Ni 成分による磁歪の変化

Al 成分による磁歪の変化については、すでに Nesbitt⁽¹¹⁾により 29% Ni, 残部鉄の材料に対して測定された結果が

Fig. 5 Change of magnetic properties dependent on the Ni content in isotropic Alnico magnet. Composition: Al 11%, Co 10%, Cu 4%, Ti 1%, Fe Bal.

Fig. 4 は 1000°C で溶体化後 4 種の冷却を行って冷却速度を変えた場合の磁歪の変化を示す。 $(\lambda/H)_{\max}$ は冷却速度が速くなると略々増加する傾向になっているが、飽和磁歪では Co 成分が多くなるとその傾向がくずれてくる。これに対して未だ詳細な考察を行う

あるので、著者らは Ni 成分による磁歪の変化を測定してみた。規準成分として Al 11%, Co 10%, Cu 4%, Ti 1%, 残部鉄の材料を選んだ。Fig. 5 は Ni 21~25% に対する溶体化後空冷処理およびその後 650°C, 4 時間

の時効を行つた場合の磁気特性の変化を示す。これらの各条件に対応して磁歪を測定した結果は Fig. 6 の如くである。これを見ると、Ni 成分に対する磁性変化と磁歪の変化とは対応していない。この磁歪の変化の異常は材料の抗

(a) Composition: Al 11%, Co 10%, Cu 4%, Ti 1%, Fe Bal.

(b) Fig. 6 Change of magnetostriction curve dependent on the Ni content in isotropic Alnico magnet.

Composition: Al 11%, Co 10%, Cu 4%, Ti 1%, Fe Bal.

磁力発生機構とは無関係のように思われるが、その原因は目下のところ不明である。溶体化処理後の磁歪によつては、いずれも総体的に磁歪が低下した。

以上の測定結果のうち主なものを Table 1 に表示した。

IV. 時効条件による磁歪の変化

さて、Co 成分を変えた数種の等方性 Alnico 材料に対して、時効による磁歪の変化は Alnico 5 の場合に比較しやや複雑であることを知つたが、その状況をもう少し調べてみることにした。

Fig. 7 はそれぞれ Co 含有が 0.6 および 12% の 3 種の Al 11%, Ni 22%, Cu 4%, Ti 1%, 残部鉄よりなる材料について時効時間による磁性の変化を測定した結果であ

る。前処理は 1000°C に 15 分加熱した後空冷したもので、ともに低下し、抗磁力の下り始める時間と略々同一の時間時効温度はいずれも 650°C となっている。これに対応させ

Table 1 Magnetostriction in isotropic Alnico magnets.

Composition					Treatment	Magnetostriction $\lambda \times 10^6$		Magnetic properties		
Al	Ni	Co	Cu	Ti		$H = 1600$	H_{max}	B_r Gauss	H_c Oe	$(BH)_{max}$ 10 ⁶ G.Oe
11	22	—	4	1	air-cool	1.4	1.9	7150	390	1.18
11	22	—	4	1	air-cool 650°C × 4hrs	1.7	1.85	7250	330	1.1
11	22	—	4	1	oil-quench	5.1	5.1	—	—	—
11	22	6	4	1	air-cool	3.15	3.95	6850	500	1.32
11	22	6	4	1	air-cool 650°C × 4hrs	2.3	3.5	6850	530	1.5
11	22	6	4	1	oil-quench	8.4	8.4	—	—	—
11	22	12	4	1	air-cool	6.6	7.25	6050	405	0.85
11	22	12	4	1	air-cool 650°C × 4hrs	4.25	6.25	6100	650	1.52
11	22	12	4	1	oil-quench	8.0	8.0	—	—	—
11	22	10	4	1	air-cool	6.1	7.2	6550	515	1.22
11	23	10	4	1	air-cool	11.5	13.7	6600	585	1.25
11	23	10	4	1	air-cool 650°C × 4hrs	9.1	10.5	6400	700	1.55
11	24	10	4	1	air-cool	6.8	8.9	6350	560	1.22
11	24	10	4	1	air-cool 650°C × 4hrs	5.7	6.9	6200	735	1.57
11	25	10	4	1	air-cool	10.1	13.4	6200	540	1.1

て磁歪を測定した結果を Fig.8 に示す。まず磁性変化をみると、Co 無しでは時効の当初から、Co 6% では約 4 時間

果によると、650°C における析出の進行は飽和磁歪を変化させないようであつて、最初 Co 6% および 12% の材料

Fig.7 Influence of aging time during aging process at 650°C on the magnetic properties in isotropic Alnico magnets air-cooled from 1000°C.

の時効から、また Co 12% は約 8 時間の時効から抗磁力が低下し、いわゆる過時効の現象が認められるが、これを飽和磁歪の変化に対応させてみると、飽和磁歪は時効時間と

Fig.8 Influence of aging time during aging process at 650°C on the magnetostriction in isotropic Alnico magnets air-cooled from 1000°C.

に見られる飽和磁歪の低下は析出以外の機構に基づくものと考え得る可能性が強い。 $(\lambda/H)_{max}$ ではその変化の現われる時間が必ずしも対応しないが、やはり略々過時効に伴って増加する傾向を示し、磁化の回転が起り易くなつて

くすることを推定させる。この状況を詳細に見るため Co 12% の材料について時効時間による磁歪曲線の変化を測定した結果を Fig. 9 に示した。空冷のままですでに溶体化の

Fig. 9 Influence of aging time during aging process at 650°C on the magnetostriction curve in isotropic Alnico magnets air-cooled from 1000°C. Composition: Al 11%, Ni 22%, Co 11%, Cu 4%, Ti 1%, Fe Bal.

状態はくずれ、恐らく 2 相分離が起っているため、磁歪曲線は比較的高い磁場から立上っている。ついで、この 650°C における時効時間の増加に伴って最初磁歪は総体的に低下するが、4 時間を過ぎると曲線が重なり合うようになる。そして過時効となる 8, 16, 32 時間の時効処理をした磁歪曲線では飽和磁歪および曲線の立上りの磁場の強さにおいて一致しているが、その途中において変化が見られる。すなわち 16 時間の時効では約 1500 Oe の附近において 8 時間の場合より磁歪が大きくなっており、32 時間の時効では約 900 Oe の附近において磁歪が大きくなっている。これは析出の進行に伴ってさらに低い磁場で磁歪の大きくなることが予想され、単一磁区の磁化の回転が起り易くなつていく事実を意味するものと考えられる。Co 成分が少いと

Fig. 10 Influence of aging temperature on the magnetic properties in isotropic Alnico magnets. Composition: Al 11%, Ni 22%, Cu 4%, Ti 1%, Fe Bal. Pre-treatment: Air-cooled from 1000°C. Aging-time: 4 hrs.

時効効果は起り易くなるので、先に Fig. 3 において Co 3% および 6% の材料に対して見られた磁歪曲線の傾向も

同一の効果であろうと思われる。Fig. 10 は前と同様の成分について 600~750°C の各温度での時効による磁性の変化を測定した結果である。前処理は 1000°C に 15 分加熱後空

Fig. 11 Influence of aging temperature on the magnetostriction in isotropic Alnico magnets. Composition: Al 11%, Ni 22%, Cu 4%, Ti 1%, Fe Bal. Pre-treatment: Air-cooled from 1000°C. Aging-time: 4 hrs.

温度によつて、磁歪の変化におよぼす時効効果の進行の傾向が異なっていることが想像される。その外、高い温度では過時効が起り易く、低い温度ではそうでないという不均衡があり、さらに高い温度での時効において三材料ともやや飽和磁歪の低下する傾向が認められることから推定して、これと Fig. 8 において見られた 650°C 時効の初期に見られた飽和磁歪の低下とが重なることが考えられ、変化は複雑になる。

$(\lambda/H)_{\max}$ の値でも Fig. 8 の結果に似た磁性変化に対応する変化の傾向が僅かに見られるが、この程度の測定結果では何ともいえない。

V. 総 括 お よ び 結 言

等方性 Alnico 磁石の磁歪を測定し以上の如き結果を得たが、それらを取りまとめて考察すると次の如くである。

(1) Co 成分の増加に従つて磁歪は総体的に増加している。溶体化後の冷却速度が早い場合にはこの傾向がややくずれる。これは或る速度以上で析出が起こらなくなる状態が生ずるということとの関連が考えられる。

(2) 一基本成分に対して、Ni 成分を変化して磁歪を測定したところ、磁性変化とは関連しない異常変化が認められた。

(3) 時効処理に伴う磁歪の変化は複雑であつて、明確な解析を困難にしているが、Alnico 5 において推定された如き析出以外の機構が存在する可能性は強いようである。磁歪変化が複雑なのは、この析出以外の機構と析出の機構とが交錯しているためであると考えられる。