論 文

高温度における Fe-Al 系合金の Wiedemann 効果

白川 勇記* 大原 亨* 阿部 健*

Yuki Shirakawa, Toru Ohara and Takeshi Abe: On the Wiedemann Effect in Iron-Aluminium Alloys at High Temperatures. The Wiedemann effect, namely the torsion caused by a circular magnetic field due to an electric current passed through the specimen and a longitudinal field, has been measured at high temperatures with annealed specimens of 13 Fe-Al alloys. With the addition of Al to Fe, the torsion increases at first gradually, but after reaching a maximum at the concentration of about 13% Al, it decreases rapidly. The Wiedemann effects of Fe-Al alloys containing less than about 6% Al at elevated temperatures are similar to that of iron, while the effect of alloys containing more than about 6% Al are similar to that of "Alfer".

(Received October 7, 1955)

I. 緒 言

さきに著者らはアルフェル磁歪合金の Wiedemann 効果の測定結果を報告したが⁽¹⁾⁽²⁾, その後 Fe-Al 系合金の強磁性全範囲に亘つて 13 種の合金を作り, 同効果を測定したのでその結果を報告する。

従来二元系合金の Wiedemann 効果の系統的研究は極めてすくなく, わずかに Fe-Ni 系合金⁽³⁾ について行われているに過ぎない。試料を作るに用いた原料は日本電解製鐵

ーで直径 3 mm, 長さ 150 mm に仕上げた。次にこれを無誘導真空電気爐を用い 1000° で 1 hr 焼鈍を行い, 次に 700° まで爐中冷却を施したのち同温度より常温まで毎時 30° の速さで冷却し実験に供した。この冷却速度は Fe₃Al なる規則格子が存在するためである。

測定装置は前報⁽¹⁾に報告した通りであり, まず磁化コイル内に装置された試料を加熱し一定温度にしたのち, 試料に直接圓形磁場電流を通して圓形磁場を作り, 電流による発熱が定常になつたのち磁化コイルに電流を流し縦磁場に

Table 1 Maximum twisted angle (θ_m) and its corresponding longitudinal field (H_m) for various constant circular field current (H_c).

Specimen No.	Al (%)	Circular Field Current H_c (A)													
		0.5		1.0		2.0		3.0		4.0		6.0		8.0	
		θ_m (")	H_m (Oe)	θ_m	H_m	θ_m	H_m	θ_m	H_m	θ_m	H_m	θ_m	H_m	θ_m	H_m
1	0	7.2	15.0	10.4	16.5	11.8	17.5	12.1	19.5	12.3	20.5	13.3	23.5	14.3	25.0
2	0.98	7.2	16.0	10.0	16.5	11.8	17.5	12.2	19.5	12.4	20.5	13.2	22.5	13.9	25.0
3	2.87	5.8	16.0	9.2	17.0	11.0	18.5	11.9	19.7	12.8	20.5	13.4	21.5	14.4	24.0
4	4.57	4.0	18.5	8.0	19.0	14.4	19.5	17.2	19.7	19.0	20.0	21.8	20.5	22.3	21.5
5	6.36	5.4	20.5	11.2	21.5	18.0	22.5	23.4	23.5	28.8	24.0	32.2	25.0	35.0	27.0
6	8.57	2.1	23.0	5.2	24.0	10.8	25.0	17.4	26.5	22.0	27.0	30.2	28.5	36.2	30.0
7	9.86	2.0	24.0	4.0	25.0	9.2	27.0	12.9	28.5	17.0	29.5	22.5	30.5	28.6	31.0
8	10.34	2.8	20.0	5.2	21.0	10.8	23.0	14.4	24.5	18.2	26.0	23.6	28.5	29.8	30.5
9	11.79	4.3	17.5	7.6	18.5	14.2	20.0	20.2	21.5	25.2	22.5	33.0	25.5	39.0	27.5
10	12.91	4.5	15.0	9.3	16.5	16.3	19.0	22.1	20.5	27.5	22.5	35.2	24.5	41.8	27.0
11	13.50	3.9	17.5	8.2	18.5	13.7	19.5	20.2	21.5	25.0	22.5	32.3	24.5	38.7	27.0
12	15.89	2.8	12.5	4.4	13.0	7.2	14.0	10.0	15.0	12.8	16.0	15.8	18.0	18.4	19.5
13	16.79	1.2	12.5	—	—	—	—	2.4	14.0	—	—	—	—	3.2	15.5

所製の電解 Fe および Alcoc 製の Al である。高周波誘導真空電気爐を用いてまず電解 Fe を溶解し, これに Al を出さるだけ酸化しないようにして装入し 6 kg の鑄塊を作つた。なお, 試料の Al の化学分析の結果は Table 1 に示す如くである。この鑄塊を鍛造して丸棒となし, グラインダ

による効果, すなわち試料の振れを尺度と望遠鏡で測定した。

II. 測定結果

1. 常温における効果

試料に直接電流を通して圓形磁場 (H_c) を作る。 H_c を一定にした場合の試料の振れ (θ) - 縦磁場 (H) 曲線および H を一定にした θ - H_c 曲線は前報⁽¹⁾におけるアルフェルの兩曲線と大同小異である。一例として試料 No. 8 (10.34% Al) について圖示すると Fig 1 の如くなる。

* 東北大学金属材料研究所

(1) 白川, 大原, 阿部, 本誌, 16(1952), 239.

(2) 白川, 大原, 阿部, 本誌, 16(1952), 473.

(3) H. Nagaoka, K. Honda, Phil. Mag., 4(1902), 45.

圖において H は對數目盛にとつた外部縦磁場, θ は單位長さ當りの捩れ角である。圖からわかるように Hc = 一定

大値 θ_m とそれを示す磁場が H_m 異なるに過ぎない。

Table 1 には各試料について種々の圓形磁場電流の値に對

する θ_m と H_m とを掲げた。それによると Hc が增加するにつれて θ_m は初め急に増加するが、4.57% Al 以下および 15.89% Al の試料では飽和に近づく傾向を示す。16.79% Al 試料の θ_m は非常に小さく Hc に比例している。 H_m は Hc によつて餘り變化しないが殆んど直線的に増加する。また θ_m と H_m との關係は 2.87% Al 以下の試料を除いて殆んど直線的に比例している。2.87% Al 以下の試料では θ_m が H_m に對して飽和する傾向がある。

次に、Fig. 1 から $H=20$ Oe における $\theta-Hc$ 曲線を求め各試料の曲線と共に Fig. 3 に示した。圖からわかるように θ は Al 含有量の少ない 2.87% Al までの試料は Hc の増加と共に初め急に増加して

Fig. 1 Relation among the twisted angle θ , longitudinal field H and circular field current H_c at room temperature for the specimen No. 8 (10.34% Al).

における捩れ曲線は互に類似し、 θ は H が増加するにつれて最初ゆるやかに次に急に増大し一つの極大値を経て減少する。また H = 一定における捩れ曲線も互に類似し、 θ は Hc が増加するにしたがい H の小さな場合は殆んど直線的に増加し、 $H=20\sim40$ Oe では増加の割合が減少し、 H が更に大きくなるとまた直線的に増加する。

次に、各試料の測定結果から $Hc=8$ A における捩れ曲線を Fig. 2 に示した。曲線上の数字は試料の Al 含有量

Fig. 2 (Twisted angle) θ - (longitudinal field) H curves for circular field current $H_c=8$ A at room temperature for Fe-Al alloys.

を示したものである。 $Hc=8$ A における試料の電流密度は 1.13 A/mm² で圓形磁場は試料の表面で 10.7 Oe である。曲線は各試料とも Fe のそれに類似しており、 θ の最

Fig. 3 (Twisted angle) θ - (circular field current) H_c curves for $H=20$ Oe at room temperature for Fe-Al alloys.

$Hc=2$ A 附近からは餘り増加しなくなる。しかし、Al の含有量が多くなるにしたがい θ は初め Hc に比例して増し、 Hc がある程度大きくなると増加の割合が減少する。16.79% Al においては θ は Hc に比例して直線的に増加する。なお、Fig. 2 および 3 の曲線は Pidgeon⁽⁴⁾ により示された式によつて定性的によく説明される。次に、Fig. 3 から $Hc=8$ A における θ を求め Al 含有量について画けば Fig. 4 の如くなる。10% Al 附近は弱縦磁場では磁化されにくいことを示している。なお、アルフェル磁歪合金は 13% Al 附近にある。

(4) A. Pidgeon, Phys. Rev., **13**(1919), 209.

2 高温度における効果

次に、温度を 100° おきに上昇して磁気変態点までの高温における効果を測定した。 $\theta-H$ および $\theta-H_c$ 曲線は常温のそれと大同小異である。 H を一定にしたときの θ の

Fig. 4 (Twisted angle) θ —(aluminium concentration) curves for $H_c=8$ A at room temperature for Fe-Al alloys.

Fig. 5 Relation among twisted angle (θ) for the circular field current (H_c) of 8 A longitudinal field (H), and temperature (T) for the specimen No. 3 (2.87 % Al).

Fig. 6 Relation among the twisted angle (θ) for the circular field current (H_c) of 8 A longitudinal field (H), and temperature (T) for the specimen No. 8 (10.34 % Al).

温度による変化は大體 2 種にわかれる。その一つは θ の極大を作るもので Fig. 5 にその一例として試料 No. 3 (2.87 % Al) の測定結果を示す。圖には $H_c=8$ A の場合を画いてある。圖から明らかな如く θ は温度上昇と共に次第に増大し 500° 附近で最高に達し、その後減少して磁気變態点 750° 附近に向つて消失している。この傾向は 4.87 % Al 以下の試料にみられる。他の一つは Fig. 6 に示したように θ は温度の増加と共に次第に減少し磁気變態点に向つて消失するものである。6.36 % Al 以上の合金がこれに属する。圖は No. 8 (10.34 % Al) の試料について $H_c=8$ A の場合の結果である。各試料の $H_c=8$ A における捩れの極大値 θ_m と θ_m を示す縦磁場を求めこれを Table 2 に示した。表からわかるように θ_m は温度の上昇と共に Fig. 5 に示した組成範囲においては極大を示し、Fig. 6 に属する試料においては單調に減少する。また H_m は温度の上昇と共に單調に減少する。

次に、 θ の温度變化を各試料について画けば Fig. 7 の如くなる。圖には縦磁場 $H=20$ Oe 圓形磁場電流 $H_c=8$ A の場合も画いてある。すでにのべた如くに 4.57 % Al 以下の合金の θ の様相は Fe の傾向に似ており、温度増加と共に θ は一度増加を示し極大を経て磁気變態点に向つて減少する。しかし Al の増加と共に θ の極大は低温に移動し、6.36 % Al では消失し温度増加と共に緩やかに減少する。11.79 % Al 以上の合金の曲線はアルフェルのそれと同じく θ は磁気變態点に向つて急激に小さくなる。以上の曲線は概観的に Hopkinson 効果の様相に似ているが簡單には説明されない。Pidgeon⁽⁴⁾ の式から考察すると、恐らく合金の磁歪温度特性に依存するものと考えられる。次に、各温度の θ を Al 含有量の函數として画けば極めて複雑な曲線になるが、 $H=100$ Oe, $H_c=8$ A の場合を一例として Fig. 8 に示した。常温における曲線はある程度磁歪⁽⁵⁾の曲線と類似しており Pidgeon の式から大體説明されるが、高温度における曲線は高温の磁歪が測定されていないのでわからない。しかしこの曲線はある程度高温の磁歪を示すものと思われる。

III. 總 括

強磁性 Fe-Al 系合金の 13 種の試料について Wiedemann 効果 θ を常温および 100° おきに磁気變態点までの温度で測定し、次の結果を得た。なお H_c は最高 8 A (試料外周の磁場は 10.7 Oe), H は最高 800 Oe であった。

(1) 常温における $\theta-H$, $\theta-H_c$ 曲線は Al 含有量と関係なく Fe, アルフェルのそれ

(5) 本多, 増本, 白川, 小林, 本誌, 12(1948), No. 12. p. 1.

Table 2 Maximum twisted angle (θ_m) for $H_c=8A$ and its corresponding longitudinal field (H_m) at elevated temperatures.

Speimen No.	Al(%)	Temperature (°C)															
		Room temp		100		200		300		400		500		600		700	
		θ_m ($^{\circ}$)	H_m (Oe)	θ_m	H_m	θ_m	H_m	θ_m	H_m	θ_m	H_m	θ_m	H_m	θ_m	H_m	θ_m	H_m
1	0	14.3	25.0	14.3	25.0	14.3	25.0	17.8	23.5	19.6	23.0	22.7	22.8	23.1	22.5	17.8	20.5
2	0.98	13.9	25.0	13.9	25.0	14.6	24.5	18.2	24.5	20.0	24.0	22.8	24.0	22.5	22.5	17.1	20.0
3	2.87	14.4	24.0	14.4	23.5	16.6	22.5	18.9	22.0	20.5	21.5	22.8	21.0	21.1	20.5	16.5	19.5
4	4.57	22.5	21.5	23.5	21.0	25.3	21.0	26.2	20.5	26.4	20.5	25.2	20.0	23.3	19.5	13.2	18.5
5	6.36	35.0	27.0	34.4	27.0	33.6	27.0	32.8	26.5	31.2	26.0	26.4	24.5	22.8	23.0	8.2	18.5
6	8.57	36.2	30.0	35.6	29.0	34.6	28.5	33.0	27.5	30.8	26.0	25.6	22.5	19.2	19.5	—	—
7	9.86	28.6	31.0	28.4	30.5	28.0	30.0	27.5	30.0	26.2	28.5	21.0	24.5	14.0	19.0	—	—
8	10.34	29.8	30.5	29.0	28.5	27.2	27.5	25.2	26.5	23.2	25.0	18.7	22.5	11.0	19.5	—	—
9	11.79	39.0	27.5	38.6	26.0	35.4	24.5	29.0	22.5	19.2	21.0	—	—	—	—	—	—
10	12.91	41.8	27.0	39.0	26.0	35.2	25.0	29.3	23.5	15.6	22.5	—	—	—	—	—	—
11	13.50	38.7	27.0	37.8	26.0	33.8	25.0	26.7	24.0	14.8	22.5	—	—	—	—	—	—
12	15.89	18.4	19.5	15.2	18.5	7.8	17.5	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
13	16.79	3.4	15.5	2.3	14.5	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

Fig. 7 (Twisted angle) θ -(temperature) T curves for $H_c=8A$ $H=20$ Oe for Fe-Al alloys

に類似し θ - H 曲線には極大値 θ_m がある。

(2) 常温における θ 対 Al 濃度曲線には二つの極大と一つの極小がある。この極大および極小値は θ_m を示す磁場において著しく、その両側の磁場においては緩やかになる。

(3) θ 対温度曲線は Al の含有量のすくない場合は Fe

Fig. 8 (Twisted angle) θ -(aluminum concentration) curves in $H_c=8A$, $H=100$ Oe at various temperatures for Fe-Al alloys.

に、多い場合はアルフェルに類似し、前者においては磁気変態点近くまで増加して急に減少し、後者においては増加の傾向がない。

(4) θ 対 Al 濃度曲線の温度による変化は非常に複雑で簡単にはいわれないが、 $H_c=8A$, $H=100$ Oe の場合の例においては常温において 2 極大 1 極小があり、中間の温度 200~400° では 3 極大 2 極小があり、500° 以上においてはこれらの極大極小は消失して単調になる。

終りに臨み本研究中終始御懇篤なる御指導と御鞭撻とを賜った増本所長に對し衷心より感謝の意を捧げるものである。また測定装置整備に當つて多大の御協力を頂いた佐藤義行氏に對し深甚なる謝意を表す。なお本研究の費用の一部は文部省科學研究費によるものである。