球 状 黒 鉛 鑄 鉄 の 磁 性*

白 川 勇 記** 宮 崎 健**

Yû-ki Shirakawa and Takeshi Miyazaki: Magnetic Properties of Spheroidal Graphite Cast Iron. The magnetic properties of spheroidal and flake graphite cast-irons of similar composition, cast into sand moulds of various diameters, were measured, and the results obtained were as follows. At the degree of graphitization, the maximum induction B_{100} , the coercive force H_c and the hysteresis loss W_h of spheroidal graphite cast iron are lower than that of flake graphite cast iron, and so the maximum permeability μ_m and the residual induction B_r were higher. B_{100} , B_r , H_c and W_h decrease and μ_m increases with increasing degree of graphitization.

(Received September. 11, 1956)

I. 緒 言

一般鑄鉄の磁性は古く Schönchen⁽¹⁾ により定性的に研究され、黒鉛炭素量と全炭素量の比が大きくなるに従つて磁性はよくなる。その後はあまり研究されていないようである。近年発達した球状黒鉛鑄鉄が極めて優れた機械的性質を有するのでこれが種々の機械部品に使用せられるようになった。従つて磁性を明瞭にしておくことは必要なことである。よつて著者らは従来の鑄鉄と比較しながら球状黒鉛鑄鉄の磁性を測定することにした、著者らが実験中入手した Everest⁽²⁾ の論文によると、球状黒鉛鑄鉄は片状黒鉛鑄鉄に比し初導磁率は小さく、残留磁気は約2倍、抗磁力は2倍以上、履歴損失は3倍位である。同時に入手した Stanss の論文⁽³⁾は Everest の結果を黒鉛炭素の形状の相違として説明している。著者らは主として黒鉛炭素の量に注目して球状および片状黒鉛鑄鉄の磁性を比較検討したのでここに報告する。

II. 試料および測定方法

試料を作るにはまず高周波溶解炉を用い、本溪湖鉄鉄 3 kg を溶解し、0.3% Si による接種を行つた後炉より取出し、Fe-50% Si-30% Mg 合金 60 g を添加して乾燥砂型に

鑄込み、球状黒鉛組織を有する試料2組を作つた(以下球状黒鉛組織を有する試料をNとして、それらに関するあらゆる性質はこれら2組の試料の平均値をとつて述べることにする)。Mgの添加量は約0.6%に相当する。鑄造試料の太さは直径10, 15, 20, 25, 30 mmの5種である。また比較試験のために作つた片状黒鉛組織を有する試料FはMgを添加しないもので、1.3% Siを添加しSi量をN試料と大体合わせたものである。これらの化学分析はTable 1に示す通りである。試料の寸法は径4~6 mm, 長さ80~100 mmに施盤で仕上げた。いずれの試料も寸法比(長さ1直径)

Table. 1 Chemical analysis of pig iron used and the specimens.

Materials	C (%)	Si (%)	Mn (%)	P (%)	S (%)	Mg (%)
Pig iron (Honkeiko)	3.5	1.4	0.6	0.02	0.02	
Spheroidal graphite cast iron	3.3~3.4	2.9~3.0	0.6	0.02	0.02	0.06
Flake graphite cast iron	3.4~3.5	3.0~3.2	0.6	0.02	0.02	

は20である。磁気は弾動電流計を用いて測定し、磁化曲線および履歴曲線を求めた。用いた反磁場係数は0.069である。次にこれらの試料の顕微鏡組織をPhoto. 1, 2に示す。写真はそれぞれ直径25 mmに鑄造したNおよびF試料のそれでいずれも綺麗な球状および片状黒鉛が析出している。尚これらの組織は磁気測定試料の両端で同じであるこ

** 東北大学金属材料研究所

* 1953年4月本会東京大会に一部発表

(1) E. Schönchen, Arch. Eisenhütt., 29(1950), 29.

(2) A. B. Everest, Foundry Trade J., 89(1950), 57; 59.

(3) H. E. Stauss, Foundry Trade J., 90(1951), 553.

Photo. 1 Spheroidal graphite cast iron. ($\times 100$) Photo. 2 Flake graphite cast iron. ($\times 100$)

とを確認した。

III. 測定結果とその考察

1. 黒鉛化 (黒鉛炭素量/全炭素量=G.C./T.C.)

まず全試料の黒鉛炭素量 G.C. を分析し全炭素量 T.C.

との比 (G.C./T.C.) を求め、鑄造試料の直径に対し画いてみると Fig. 1 の如くなる、炭素の分析結果は Table 2 に示してある。図から判るように黒鉛化は鑄造試料の太さ

Fig. 1 Relation between graphitization (G.C./T.C.) and diameter (d) of specimen as cast.

N: Spheroidal graphite cast iron.

F: Flake graphite cast iron.

を焼鈍して 90 % の黒鉛化をさせるに要する時間は 950° で 30 min, 95 % には 90 min 位である。

に極めて敏感で、太くなると急激に増加するが 20 mm 以上の太さではほぼ一定になる。その値は球状黒鉛試料の場合は約 90~95 %, 片状黒鉛試料の場合は約 85 % である。これらの結果は従来のものと大同小異である。なお我々の実験では同程度の Si 量の白鉄

2. 磁化曲線

Table 2 Diameter (d) as cast, graphitized carbon (G.C.) and total carbon (T.C.) of nodular (N) and flake (F) cast iron.

Specimen No.	d (mm)	G.C. (%)	T.C. (%)	G.C./T.C. $\times 100$
N-1	30	3.12	3.35	93
N-2	25	3.08	3.31	93
N-3	20	2.95	3.31	89
N-4	15	2.50	3.38	74
N-5	10	1.70	3.28	52
F-1	30	2.94	3.43	86
F-2	25	2.96	3.45	86
F-3	20	2.90	3.38	86
F-4	15	2.83	3.50	81
F-5	10	2.57	3.47	74

次に各試料の磁化曲線を求めた。一例として直径 30 mm に鑄造した N-1 および F-1 試料について図示すれば Fig. 2 の如くなる。図から判るように、明らかに N 試料は F 試料に比し磁束密度は高く曲線は急である。Fig. 2 の曲線から最大導磁率 μ_m を求め、また有効磁場 100 Oe における磁束密度 B_{100} を黒鉛化の割合について画けば Fig. 3 の如くなる。図から判るように B_{100} は黒鉛化の多い程わずかに低い、同じ組成の鋳鉄は熱処理によつて黒鉛化の進むに従つて磁気飽和値は大きくなるが、我々の場合はこれらと異り鑄造したままの試料を用いたので異なる結果が得られている。 μ_m は黒鉛化の進むに従つて高くなる。黒鉛化の同じ試料を比較すると N 試料は F 試料に比較して B_{100} , μ_m 共に高い。

3. 履歴曲線

履歴曲線は最高磁場を 100 Oe として測定し、残留磁気

Br および抗磁力 H_c を求め、黒鉛との関係を Fig. 4 に示した。図から判るように Br は B_{100} と同じように黒鉛化

Fig. 2 Magnetization curves and hysteresis loops of spheroidal (N) and flake (F) graphite cast iron.

Fig. 3 Relation between induction at 100 Oe B_{100} , maximum permeability μ_m and graphitization G.C./T.C.

も黒鉛化 100 % で一致するよう見える。これを式で表わせば次の如くなる $[H_c]_N$ と $[H_c]_F$ の差を $\Delta_{N-F}[H_c]$ で表わすと

$$\Delta_{N-F}[H_c] = 0.216(G - 100)$$

Everest は N 試料の H_c が F 試料より低いとしているが、本研究の結果によれば黒鉛化を度外視しない限り成り立たないようである。

次に履歴損失 W_h を計算し黒鉛化についてかくと Fig. 5 が得られる。図から判るように N 試料の W_h は同一の黒鉛化

の多いもの程わずかに低くなっている。前述のように Everest は F 試料の Br は N 試料の約 1/2 であると報告しているが吾々の結果では約 5/6 で 1000 gauss 程度低いにすぎない。

H_c は μ_m の場合とは反対に黒鉛化の多いもの程直線的に低くなっている。黒鉛炭素の割合の同じときには、N 試料の抗磁力 $[H_c]_N$ は常に F 試料のそれ $[H_c]_F$ より低く、両者の差は黒鉛化 G (%) が多い程少く、あたかも

に対し常に F 試料より多い。両者の W_h は H_c と同一の傾向をとり外挿すれば黒鉛化 100 % で一致するよう減少する。

Everest の結果では W_h が F 試料より多くなっているが H_c の場合と同様に同一黒鉛化において比較すれば反対のようである。なお N 試料の履歴損失 $[W_h]_N$ は黒鉛化 G (%) の増加と共に次式に従い減少する

$$[W_h]_N = -0.34 G + 45$$

また F 試料の損失 $[W_h]_F$ とは次の関係にある

$$[W_h]_N = 0.5[W_h]_F + 5, \\ H_c \text{ および } W_h$$

は Fig. 4, 5 から判るように 100 % 黒鉛化において球状と片状とで何れも同一の値になっているが理論的には解釈出来ない。

IV. 総 括

同じ組成の球状および片状黒鉛鑄鉄を種々の太さに鑄造し磁性を測定して次の結果を得た。

(1) 球状黒鉛

鑄鉄の磁性は片状黒鉛鑄鉄に比し同一の黒鉛化 (G.C./T.C.) に対して抗磁力 H_c 、履歴損失 W_h は低く、飽和磁束 B_{100} 、残留磁気 Br 、最大導磁率 μ_m は高い。

(2) 磁性は球状、片状黒鉛鑄鉄両者において黒鉛化の増加と共に直線的に μ_m は増加し、 B_{100} 、 Br 、 H_c 、 W_h は減少する

終りに臨みこの研究を遂行するに当り有益な御意見を賜った本所今井教授、試料作成上多大の御援助を戴いた本所丸山助教授に感謝の意を表す。また山岡内燃機製作所音谷博士は参考試料を、住友金属工業吹田製作所角尾副所長は Mg 母合金を恵与された、こゝに感謝する。

Fig. 4 Relation between residual induction Br , coercive force H_c and graphitization G.C./T.C.

Fig. 5 Relation between hysteresis loss W_h and graphitization G.C./T.C.