含 硼 素 鋼 の 研 究 (第 8 報)*
高マンガン磁石鋼の磁性に及ぼす微量硼素添加の影響 (I)

今 井 勇之進** 今 井 彦太郎***

Yûnoshin Imai and Hikotarô Imai: An Investigation on Boron-Treated Steels (8th Report). On the Effects of Boron-Addition to the Magnetic Properties of "Fe-Mn" Magnet-Steel (I). The addition of very small amount of boron as little as 0.003 % to magnet steel containing 13~15 % of manganese improves the maximum energy product of the

** 東北大學金屬材料研究所; *** 防衛大學

* 1953 年 4 月本會東京大會に發表

steel to about 500 from 400×10^3 gauss-oersted, while the coercive force or the residual induction were scarcely improved. The added amount of boron to the order of 0.05 % is not desirable, because it raised the austenitizing temperature for dissolving the boride and did not improve it so much as compared with the cases of boron added by 0.03 %.

(Received June 25, 1956)

I. 緒 言

著者等はこれまでに中炭素鋼および低合金鋼の硬化能或いは 0.05~0.20 % C 程度の低炭素-低合金鋼の機械的諸性質などに及ぼす微量 B 添加の影響について數次に亘つて報告⁽¹⁾して來た。本報告は高マンガン磁石鋼の磁氣的諸性質に及ぼす微量 B 添加の影響について報告したものである。

高マンガン磁石鋼は戦時中ドイツにおいて W. Jellinghaus⁽²⁾ によつて見出された無 Co の高抗磁力磁石鋼であり、わが國においても三島博士⁽³⁾によつて研究せられてゐる。

本材料は Mn 13~15 % を主合金元素とし、焼準のまゝの状態ではオーステナイト組織で非磁性である。これに 60~80 % 程度の冷間加工を施すとマルテンサイト組織になり、さらにこれを 500~570° の温度範囲で焼戻を施すと相當の高抗磁力を示すようになる。これはマルテンサイトの組織中に微細分布したオーステナイトが微細に分散析出し硬化するためである。因みに本鋼発見の Jellinghaus の實驗結果中代表的なものは次の通りである。

C=0.05 %, Mn=14 %, Al=0.1~0.5 %, Ti=1.5~1.0 % を鐵合金の磁氣特性は $H_c=60\sim220$ Ga., $B_r=4,500\sim11,000$ Oe, $(BH)_{max}=400$ G·Oe である。

II. 實驗方法

實驗に用いた試料は Table 1 に掲げた 6 種類で C 含有量は 0.05 % とし、Mn 含有量はこの種材料の最も標準的な 14.0 % とした。また Al および Ti の含有量はそれぞれ 0.5 % および 1.0 % (試料 C は Ti 含有量を特に 1.5 % とした) とした。試料 B は B を添加せざる標準試料で、試料 A および C はこれに B を 0.003 % 添加したものである。また試料 D, E および F は添加 B 量の影響を求めるためのものであり、それぞれの B 添加量は 0.010, 0.025 および 0.050 % である。

これらの試料はすべて高周波誘導爐にて熔製し、直径 5.0 mm までは熱間圧延し、これを 1000° に 30 min 間加熱

Table 1 Chemical analysis of Fe-Mn alloys.

Specimen	C (%)	Mn (%)	Al (%)	Ti (%)	B (%)
A	0.05	14.0	0.5	1.0	0.003
B	"	"	"	1.0	"
C	"	"	"	1.5	0.003
D	"	"	"	1.0	0.010
E	"	"	"	"	0.025
F	"	"	"	"	0.050

(1) 今井, 今井, 本誌, **14**(1950), 52, 57; **15**(1951), 44; **17**(1953)129, 134, 402.

(2) W. Jellinghaus, Arch. Eisenhütt., **15**(1941), 99.

(3) 三島, 鐵と鋼, **34**(1948), 21; **36**(1950), 22.

後水中焼入れした。この場合高 B 含有の試料 D, E および F については添加した B のオーステナイトへの溶解處理のため焼入温度を高める必要があり、1000~1250° 範囲の高いオーステナイト化温度を採用した。

上述の如き焼入れのまゝの状態では B 含有の有無に關せず、すべてオーステナイト組織で非磁性である。

次に直径 5.0 mm より直径 2.5 mm まで冷間にて線引きを施しマルテンサイト組織とした。この場合の加工度は 75 % である。線引き加工に際しては特に B 添加のための困難さは認められなかつた。冷間加工後の試料は 500~575° の温度範囲にて焼戻を行いその場合の磁性の變化を求めた。

III. 實驗結果

1. B 添加量 0.003 % の場合

試料 A, B および C は冷間線引きを施したまゝの状態ではいずれも H_c は 20 Oe 程度で B_r の値もまた小さく大體 5,500~6,000 Gauss 程度であり B の添加による影響は全然認められない。これらの試料を 500° で焼戻を行った場合の磁性の變化を Fig. 1 に示した。

Fig. 1 Influence of boron-addition to the magnetic properties of high-Mn(14%) magnet steels, tempered at 500°.

試料 A, B および C いずれの場合においても H_c は焼戻時間の増加に伴い増大し、 B_r は焼戻の初期において大きな増大を示し、その後は焼戻時間の増加に伴い漸次低下する。 $(B \cdot H)_{max}$ の値は焼戻時間の増加と共に増大する。

Fig. 1 より明らかなように B 0.003 % 程度添加すれば B_r は低く H_c は高くなる。

特に $(B \cdot H)_{max}$ の變化は大きく 500° に 3 hrs 焼戻した場合、無 B (試料 B) の 380×10^3

G·Oe 程度に較べ B を添加したもの (試料 A) 約 500×10^3 G·Oe は極めて優秀である。この場合の消磁およびエネルギー

ギ-積曲線を示せば Fig. 2 の如くである。圖でわかるように消磁曲線が膨れるということが B 添加に基く磁性の改良の主要なる特色である。

Fig. 2 Influence of boron-addition to the magnetic properties of high-Mn (14%) magnet steels, tempered at 500° for 3.0 hrs.

Fig. 3 Influence of boron-addition to the magnetic properties of high-Mn (14%) magnet steels, tempered at 525°.

なお試料 A (1.0% Ti) および C (1.5% Ti) の磁氣的諸性質は殆んど同一でこの場合殆んど Ti の影響がない。

次に焼戻温度 525° および 550° の場合の焼戻時間の増加に伴う磁性の變化を Fig. 3 および Fig. 4 に、また 575° にて 30 min 焼戻を施した場合の性能曲線を Fig. 5 に示した。これらのいずれの場合においても上に述べた 500° 焼戻の場合において認められたところの B 添加により $(B \cdot H)_{\max}$ の値を著しく増大するという特色は明瞭に認められる。

Fig. 2~5 から代表的な磁氣的諸性質を求め焼戻温度 ×

時間に對して画けば Fig. 6 の如くなる。無 B の試料 B においては $(B \cdot H)_{\max}$ の値は焼戻温度の上昇に伴つて増大する。これに反し B を添加した試料 A および C の場合におい

ては $(B \cdot H)_{\max}$

の値は 525° 焼

戻の場合におい

て最高の値を示

し、焼戻温度の

高まるにつれて

漸次減少してい

る。

しかしながら

いずれの場合に

おいても含 B

のものゝ $(B \cdot$

$H)_{\max}$ の値は無

B のものゝ値に

比較して相當に

大きな値を示してい

る。

以上に述べたよう

に微量の B の添加に

よつてこの種の高マ

ンガン磁石鋼の磁性

は著しく改良されるものであり、それが原因としては焼戻

によつてマルテンサイト中に析出するオーステナイトと硼

化物の様相の變化に基くものと考えられるが、今後の研究

に俟つところである。

Fig. 4 Influence of boron-addition to the magnetic properties of high-Mn (14%) magnet steels, tempered at 550°.

Fig. 5 Influence of boron-addition to the magnetic properties of high-Mn (14%) magnet steels, tempered at 575° for 0.5 hr.

2 B 添加量の増加に伴う影響

B 添加量は Table 1 に示したように 0.010% (試料 D), 0.025% (試料 E) および 0.050% (試料 F) の 3 種類とした。まず冷間加工の施工に先行して行う焼入れを (1) の B 添加量 0.003% の場合と同じく 1000° とした場合のそれぞれの磁性を Fig. 7 に示した。圖より明らかなようにこの程度の B 添加量の増加によつて磁性はいずれも却つて著しく劣化する。これは 1000° の處理温度においてなお未溶解の

まゝオーステナイト中に存在する硼化物 Fe_2B の量の急激な増加に基因するものと考えられる。また焼入れ後の冷間

Fig. 6 Influence of boron-addition to the magnetic properties of high-Mn (14%) magnet steels, tempered with various temperatures.

Fe_2B はなお多量に未溶解として残っている。

さらに焼入れ温度を高めて 1250° とした場合の磁性を Fig. 7 に追加して示した。圖より明らかなようにこの場合において始めて実験 1 において述べた B 添加に伴う磁性の改良、すなわち H_c を少しく改善し $(B \cdot H)_{\max}$ の値を非常に大ならしめるという良効果が認められる。事実焼入れのまゝの状態における検鏡結果は試料 D, E および F のいずれのものにおいても未溶解の硼化物の存在は殆んど認められず、オーステナイト中への溶解が大體完全であることが知られる。またこの場合の冷間の伸線作業は実験 1 の無 B のもの、或いは低い B 含有量のものについてと同様に極めて容易で特に断線などの困難を伴わない。

以上の結果から B の添加量が 0.050 % 程度にまで増加しても硼化物 Fe_2B がオーステナイト中に溶解するに充分

Fig. 7 Influence of austenitizing temperatures upon the magnetic properties of high-Mn (14%) magnet steels, containing the various amount of boron.

添加は劣化を來たす。

V. 結 論

(1) 低炭素-高マンガン磁石鋼に対する 0.003 % 程度の微量の硼素の添加はその磁性の改良に極めて有効で残留磁氣の値は若干低下するが、わずかながら抗磁力を増大し特に最大磁氣エネルギー $(B \cdot H)_{\max}$ の値を非常に増大せしめるものである。

(2) この種の材料に対する硼素の添加量は 0.003 % 程度が最も有効で、それ以上の添加量の増加は徒らに熱處理温度を高めることを必要とし、その磁性もまた硼素添加量 0.003 % の場合以上を期待出来ない。

本研究には所長増本先生の懇切な御指導を仰いだ。記して深謝の意を表する。