UDC 669. 14. 018.8 : 621. 9. 011 : 538. 21

621. 778

快削電磁ステンレスの特性に およぼす引拔加工の影響

加藤 哲 男* 関 尾 勲**

Influence of Cold Drawing on the Properties of Free-machining Magnetic Core Stainless Steel

Tetsuo Katô and Isao Sekio

Synopsis

A study has been made about the variation of properties of free-machining magnetic core stainless steel by drawing and subsequent annealing.

The magnetic properties become worse with increasing of drawing ratio, but they are recovered by annealing with progress of recrystallization. The temperature at which the recovery of magnetic properties starts is found to be about 100°C higher (about 600°C) than that in the case of free-machining magnetic core iron and 1% silicon iron. The magnetic properties are, at the drawing ratio of 10-15%, improved largely and 800 or 850°C is recommendable as the annealing temperature.

The magnetic properties are generally excellent by aluminum addition. Even in 900°C annealing, there is not any formation of γ phase and no deterioration of magnetic properties can be seen.

1. 緒 言

電磁バルブを始めとする各種リレーの鉄心材料として、耐食性のすぐれた軟質磁性材料が広く使われるようになっている。要求される性質としては、保磁力が低く透磁率が高いこと、飽和磁気も高いことと耐食性にすぐれていることであるが、これに適合する材料として、フェライト系ステンレス鋼が挙げられる。フェライト系ステンレス鋼の磁性はその種類によって大きく変動する^{1)~3)}が、これまで市販のこの種の材料としては低炭素の13%クロムステンレス鋼が標準になっているようである。

これに対し、さきに快削性を付与し⁴⁾ また磁性の向

上をはかる⁵⁾ 研究を行なったが、その結果実用試験も重ねて被削性、耐食性とともな十分磁性のすぐれた材料を開発することができた。この快削電磁ステンレスの使用例については後記するが、材料は引拔加工のミガキ棒状態で使用されることが少なくない。そのため引拔加工によって生ずる特性変化の状況について調査し、この材料の製造および使用上の資料を求めることとした。ここに試験結果をとりまとめて報告する。

2. 使 用 例

二つの使用例について説明する。

用途としては電磁バルブが最も多く、構造は多種にわたっているが、そのうち三方弁の製品例を **Photo. 1** に示す。 **Fig. 1** はその作動状態をあらわす断面図を示す。3部分に快削電磁ステンレスが使われている。図においてaおよびbの部分は固定であるが、cの部分は可動になっている。左図は励磁コイルに電流を通

昭和46年6月22日受付

*大同製鋼中央研究所, 工博

**大同製鋼中央研究所

Photo. 1. Electromagnetic valve.

Fig. 1. Schematic diagram of the electromagnetic valve.

じ可動部分cがbの側に吸引された状態を示している。このときバルブは図の左右方向に液体が流通する。右図は電流を切り可動部分がばねにより押し上げられた状態を示す。このときは液体はc部分の間を抜けて右から下方へ流通するようになっている。

Fig. 2 は電池式チャイムの構造の概略図を示す。可動鉄心に細い丸棒状の快削電磁ステンレスが使われ

Fig. 2. Schematic diagram of the chime.

ている。ボタンスイッチにより励磁コイルに電流が通じると可動鉄心は図の左方に吸引されて左側の振動片をたたく。電流が切られるとばねによりもどされて右側の振動片をたたいて音を出すようになっている。

3. 試料および試験方法

試験は2種の成分の材料について行なった。供試材の化学成分を Table 1 に示す。Y3733 では特にアルミニウムの添加は行なわず脱酸程度にとどめ、Y3734 では 0.3% のアルミニウム添加をねらって溶解

Table 1. Chemical compositions of specimens (%)

No.	C	Si	Mn	P	S
Y 3373	0.009	0.91	0.27	0.013	0.026
Y 3734	0.010	0.98	0.29	0.013	0.025

No.	Cu	Ni	Cr	Al	Pb
Y 3733	0.02	0.11	13.30	0.004	0.12
Y 3734	0.01	0.06	13.32	0.31	0.13

し、磁性向上をはかった⁵⁾。溶解は200kg 誘導炉によって行ない、2回の熱間圧延で直径16mmの丸棒まで加工した。その後直径10mmとなるまで、引抜加工を行なったが途中で750°C、4時間の間焼鈍をはさんで最終冷間加工率が0から30%まで、段階的に変化するように調整した。焼鈍はすべて真空中で行なった。

磁気測定は自記磁束計により継鉄法⁶⁾で行なった。これにより磁化およびヒステリシス曲線を描き、それより磁束密度B、飽和磁気(30エルステッドにおける磁束密度)Bs、保磁力Hcを読みとった。また透磁率曲線を書いて最大透磁率 μ_m を求めた。

機械試験は磁気測定済の試片について5トンアムスラー試験機により行ない引張強さ σ_B 、0.2%耐力 $\sigma_{0.2}$ 、伸びElおよび絞りRAを測定した。合わせてブリネル硬さH_Bを測定し、顕微鏡による組織観察も行なった。

4. 磁 性

Fig. 3 は2種の供試材について引抜加工による磁性変化を測定した結果を示す。Al添加試料において総体的に磁性が上回っているが、いずれも5%から10

Fig. 3. Influence of drawing ratio on magnetic properties.

Fig. 5. Relation between magnetic properties after annealing at 800°C and predrawing ratio.

Fig. 4. Relation between magnetic properties after annealing at 700°C and predrawing ratio.

Fig. 6. Relation between magnetic properties after annealing at 900°C and predrawing ratio.

%程度までの弱加工により H_c は大きく増加し、また μ_m と B_s は大きく低下して著しい磁性悪化となっている。また、さらに加工率が増加するにしたがって少しずつ磁性悪化の傾向となっている。

Fig. 4 は上記の引抜加工後 700°C で4時間焼鈍したときの磁性について測定した結果を示す。磁性変化の推移はさきの快削純鉄における実験結果⁶⁾と同様の傾向となっており、15% 以上の高加工率側で再結晶にともなう磁性の回復が見られる。10% 以下の低加工率側では磁性回復は僅かな値にとどまっている。

Fig. 5 および 6 はそれぞれ引抜加工後 800°C および 900°C で各4時間焼鈍したときの磁性について測定した結果を示す。両者とも各加工率の全般にわたって磁性の回復と向上が見られる。焼鈍により結晶が粗大化し最も H_c が低く、 μ_m が高くなって磁性が向上する加工率は10ないし 15% となっている。他の結果³⁾よりやや低い加工率のところになっているが、快削純鉄⁶⁾および1%けい素鉄⁷⁾の結果とはよく合っている。このうち 900°C 焼鈍についてアルミニウム無添加試料 (Y3733) では磁性が劣化し、アルミニウム添加試料 (Y3734) とくらべ、 H_c 、 μ_m および B_s の間の差が大きくなった。

Fig. 7 はアルミニウム無添加 (Y3733) の試料について焼鈍温度と磁性との関係についてとりまとめた結果である。引抜加工率は0, 10 および 20% の状態について示した。焼鈍時間はいずれも4時間である。700°C 焼鈍では 10% 加工にくらべ 20% 加工後の方が H_c は低く、 μ_m は高くなって磁性がすぐれ強加工側から再結晶が進行して磁性回復へ向っていることがわかる。800 ないし 850°C 焼鈍において 10% 加工のところでも最も高い磁性となっている。900°C を越える焼鈍ではさきに述べた通りそれより磁性が悪化している。

Fig. 8 はアルミニウム添加 (Y3734) の試料について同様に焼鈍温度と磁性との関係についてとりまとめた結果を示す。低温側での磁性変化の傾向は前の試料とほぼ同様であり 10% 加工後の 800 ないし 850°C 焼鈍において低い H_c と高い μ_m が得られ最も高い磁性となっている。 H_c は 1.0 エルステッドを割るようになっている。その後 900°C 焼鈍を越えても特に磁性の劣化は見られず、加工率 0 のときの磁性は向上して全体の磁性が近づくようになっている。

以上の試験結果から明らかなように、Y 3734 試料は加工および焼鈍した状態の全般にわたって磁性がすぐれていることが確認された。工業的に快削電磁ステ

Fig. 7. Effects of annealing temperature on the magnetic properties of the specimen with silicon (Y3733) after drawing.

Fig. 8. Effects of annealing temperature on the magnetic properties of the specimen with silicon and aluminum (Y3734) after drawing.

Fig. 9. Magnetization and hysteresis curves of specimen drawn at 10% reduction and annealed at 850°C.

ンレスの標準成分はこの化学成分を目標とすることになっている。

Fig. 9 は本試験で達せられた最も良い状態のヒステリシスおよび透磁率曲線を示す。引拔加工率10%，焼鈍条件 850°C，4時間， H_c 1.0 エルステッド， μ_m 5040， B_r 8400 ガウス， B_2 8800 ガウス， B_s 13100 ガウスである。

5. 結 晶 粒 度

(a) 0% Red.

(b) 5% Red.

(c) 10% Red.

(d) 15% Red.

(e) 20% Red.

(f) 30% Red.

Photo. 2. Microstructures of the specimen with silicon (Y3733) after drawing at various reductions. ($\times 150$)

Photo. 2, 3 に引拔加工した状態で観察した顕微鏡組織写真を示す。倍率は以下すべて150倍で使用した。腐蝕液はピレラである。両材料とも加工率の増加にともない、引拔方向に結晶がのびているのが見られる。

Photo. 4, 5 は各加工率の引拔加工後 700°Cで4時間焼鈍した状態について観察した顕微鏡組織写真を示す。600°C 焼鈍ではまだ加工の影響が残る明らかな再結晶の進行は見られないが、この 700°C になると両材料とも15%以上の加工率のところで再結晶がすすんでいる。磁性変化がこの再結晶に明らかに依存していることがわかる。

Photo. 6, 7 は各加工率の引拔加工後 800°Cで4時間焼鈍した状態について観察した顕微鏡組織写真を示す。全般にわたって再結晶がすすみ両材料とも特に10および15%加工のところで結晶が粗大化している。850°C 焼鈍のときの組織写真はここに示さないが、さらに再結晶はすすみ、5%加工のところでも粗大化するようになっていく。アルミニウム添加(Y3734)および無添加(Y3733)の試料を比較すると前者において粗大化の傾向が強く、これが磁性向上につながっていることが知られる。

Photo. 3. Microstructures of the specimen with silicon and aluminum (Y3734) after drawing at various reductions. ($\times 150$)

Photo. 4. Microstructures of the specimen with silicon (Y3733) after drawing at various reductions and subsequent annealing at 700°C. ($\times 150$)

Photo. 5. Microstructures of the specimen with silicon and aluminum (Y3734) after drawing at various reductions and subsequent annealing at 700°C. ($\times 150$)

Photo. 6. Microstructures of the specimen with silicon (Y3733) after drawing at various reductions and subsequent annealing at 800°C. ($\times 150$)

Photo. 7. Microstructures of the specimen with silicon and aluminum (Y3734) after drawing at various reductions and subsequent annealing at 800°C ($\times 150$)

Photo. 8. Microstructures of the specimen with silicon (Y3733) after drawing at various reductions and subsequent annealing at 900°C. ($\times 150$)

Photo. 9. Microstructures of the specimen with silicon and aluminum (Y3734) after drawing at various reductions and subsequent annealing at 900°C. (×150)

Photo. 8, 9 は各加工率の引抜加工後 900°C で 4 時間焼鈍した状態について観察した顕微鏡組織写真を示す。アルミニウム無添加試料 (Y3733) では γ 相の生成が生じたものと考えられ、全体にわたって混粒の傾向が見られる。カーバイドの偏析も起っている。これによって磁性は低下となっている。アルミニウム添加試料 (Y3734) ではなお全体に再結晶、結晶の粗大化がすすみ、これがさらに磁性向上につながっていることが知られる。

Fig. 10. Relation between grain size and coercive force.

Fig. 11. Influence of drawing ratio on mechanical properties.

Fig. 10 はこの実験結果から結晶粒度と H_c との関係求めた結果を示す。 H_c と平均粒径 L との逆数とはほぼ比例し、関係式は

$$H_c = \frac{1.25}{L} + 1.00 \text{ (Oe)}$$

が得られた。

6. 機械的性質

Fig. 11 は2種の供試材について引抜加工による機械的性質の変化を測定した結果を示す。引抜加工率の増加にしたがって単調に硬化して H_B , σ_B および $\sigma_{0.2}$ は上昇し, RA および El は低下している。

引抜加工後の焼鈍による機械的性質の変化の傾向は快削純鉄および1%けい素鉄における結果とほぼ同様であるが、軟化の進行はやや遅いようである。600°C (4時間) ではまだ引抜加工率により硬化した傾向が強く残るが、700°C (4時間) になると、その加工の影響はほとんど消失している。

Fig. 12 に上記引抜加工後800°Cで4時間焼鈍したときの機械的性質を示す。低加工率の結晶粗大化したところでわずかな伸びと絞りの低下が見られる。標準

Fig. 12. Relation between mechanical properties after annealing at 800°C and drawing ratio.

の状態、 H_B 150, σ_B 45kg/mm², $\sigma_{0.2}$ 25kg/mm², RA 75%, El 50% となっている。

7. 総括および結言

快削電磁ステンレスについて引抜加工率による特性の変化について試験を行ない、ミガキ棒としての特性をほぼ把握することができた。その結果をまとめると次のごとくである。

(1) 引抜加工による H_c は急速に増大し、 μ_m は急速に低下して磁性は悪化するが、これを焼鈍すると600°C程度から再結晶の進行とともに徐々に回復し、800°C以上の焼鈍において向上を示す。10~15%のスキンプス領域で結晶の粗大化による磁性向上が見られることは既に快削純鉄および1%けい素鉄において確認されている状況と同様である。

(2) アルミニウム添加試料は全般にわたって磁性がすぐれている。アルミニウム無添加の試料が900°C焼鈍において、 γ 相の生成による磁性の劣化を示すのに対し、アルミニウム添加試料ではこの現象が見られず、磁性は向上を示している。

(3) 機械的性質は良く知られているように引抜加工により硬化する。これを焼鈍すると600°C程度ではまだ加工の影響が残されるが、700°Cの焼鈍によるとほぼ回復する。

終りに本研究について熱心に協力された大同工業大学学生(現大同興業株式会社)安藤司郎君に感謝致します。

(文 献)

- 1) W. S. Eberly: Iron Age, 183 (1959) April 23, 106
- 2) 加藤, 富岡: 電気製鋼, 37 (1966), 265
- 3) H. Dietrich: DEW Tech. Berichte, 11 (1971), 42
- 4) 加藤, 関尾, 草加: 電気製鋼, 41 (1970), 127
- 5) 加藤, 関尾: 電気製鋼, 42 (1971), 41
- 6) 加藤, 富岡: 電気製鋼, 40 (1969), 296
- 7) 加藤, 富岡: 電気製鋼, 41 (1970), 51