論 説

UDC 669.127.5 : 669.14.018.58.017

669.4 538.21/.22 : 621.94.011

快削性電磁純鉄における鉛成分変化の影響***

加 藤 哲 男*

富 岡 達 也**

Influence of Lead Content on Some Properties of Free-Cutting
Magnetic Pure Iron

Tetsuo Katô and Tatsuya Tomioka

【概 要】

純鉄の中に、少量の鉛を分散させることにより、先に快削性を附与した電磁純鉄を開発したが、この鉛含有量による磁性、機械的性質および被削性への影響について調査した。約0.20%までの鉛含有により、磁性はほとんど変化せず、機械的性質も影響されない。被削性は0.05~0.20%の鉛含有で大きく改善され、その間鉛含有量による差は少ない。

1. 緒 言

継電機や電磁クラッチ、そのほか電磁石の鉄心などに広く電磁純鉄が使用されている。これは切削、穴あけなどの加工を受ける場合が少なくないが、これまで、極めて加工困難であるということが欠点であった。これに対し、著者らはさきに純鉄中に少量の鉛を細かく分散させることを試み、それによって、純鉄の本来の磁性を損うことなく快削性を附与させることに成功した¹⁾。

軟質磁性材料において、一般に、不純物の添加は磁性に悪い影響をおよぼすと信じられているが、分散した鉛は本質的に磁性を悪化させないものの如くで、本快削性電磁純鉄は従来の通念を破ったものといえる。この問題に対する考察はまだ定性的な判断の域を脱しない状態であるが、この検討に入るに先立

ち、まず鉛含有量による諸特性の変化を調査し、あわせて本材料の製造および利用に必要な諸条件を明らかにすることとした。

以下、この実験結果について報告する。

2. 試料および実験方法

試料は砂鉄から製造された未脱酸純鉄を原料として50 kg 高周波誘導炉を使用し、鉛含有量を0~0.21%に変化して添加した5溶解により溶製した。溶解に当っては不純物の混入を避けるとともに、脱酸に意を用いた。その分析結果を Table 1 に示す。鉛以外の各成分は比較的良く揃っている。

鑄造した50kg インゴットはそれぞれ直径50mm、40mm および 25 mm の丸棒にわけて鍛伸した。直径50mmの材料はそのまま切削試験用に供し、直径40mmの材料からは外径35mm、内径25mm、厚さ7mm

昭和43年4月15日受付

* 大同製鋼(株)中央研究所, 工博

** 大同製鋼(株)中央研究所

***昭和42年9月 日本金属学会札幌大会において発表

Table 1. Chemical compositions of specimens

(%)

No.	C	Si	Mn	P	S	Cu	Ni	Cr	Al	Pb
1	0.009	0.03	0.04	0.004	0.007	0.02	0.02	0.02	0.021	—
2	0.009	0.03	0.04	0.004	0.007	0.02	0.02	0.02	0.025	0.05
3	0.010	0.03	0.04	0.004	0.009	0.02	0.02	0.02	0.024	0.12
4	0.009	0.04	0.04	0.004	0.008	0.02	0.02	0.02	0.024	0.18
5	0.009	0.03	0.09	0.004	0.009	0.03	0.02	0.03	0.026	0.21

non Pb

0.05 % Pb

0.12% Pb

0.18 % Pb

0.21 % Pb

Etchant : 1 % nital $\times$ 50

Annealed at 850 °C

Photo. 1. Micro-structures of Pb and non-Pb pure irons.

の磁気試片を切り出し、また直径25mmの材料からはJIS 4号引張試験片を切り出した。その後、焼鈍後特性の比較のため磁気試片および引張試験片については、標準の焼鈍条件である850°C焼鈍を施した。このときの結晶粒度はいずれも2.5~3.5であった。850°C、4 hr 焼鈍状態の顕微鏡組織を **Photo.1** に示す。磁気測定は自記磁束計により行ない、画いた磁化およびヒステリシス曲線から抗磁力 H_c 、飽和磁気 B_s 、残留磁気 B_r 、最大透磁率 μ_m および初透磁率 μ_i を読みとった。機械試験は50トンアムスラー試験機により行なった。また硬度測定をブリネル硬度計で行なった。切削試験は精密高速旋盤により、工具 K10 33-0.0.0.7. 7.0.10.0, 切込 1.0 mm, 送り 0.1mm/rev, 切削速度 30~240m/min の条件で行ない、切削抵抗を測定するとともに切屑形状の観察を行なった。

3. 鉛含有量変化による磁性への影響

Fig. 1 は鉛含有量と磁性との関係を求めた結果を示す。実線は850°C、4 hrの焼鈍、点線は850°C、16 hrの焼鈍を行なった後の磁性である。まず H_c について見ると4 hrより16 hr 焼鈍において既に知られてい

Fig. 1. Influence of Pb content on magnetic properties.

るごとく、総体的に0.8エルステッドから約0.7エルステッドへ低下しているが、いずれにおいても鉛含有量による差はほとんど認められない。

μ_i および μ_m は抗磁力の場合に対応して、4 hr より16 hr 焼鈍において総体的に向上が見られ、それぞれ約1200および約10000となっている。しかし、いずれも鉛含有量による差はほとんど認められない。鉛は既に知られているように鉄中に細く分散している²⁾ ³⁾ のであって、この種の軟質磁性材料の場合、一般に介在物の存在は、そのまわりに歪および静磁エネルギーの変化を伴って磁性を悪化させ、特に初透磁率には多少とも影響することが予想されたのであるが、少なくとも本測定においては変化は誤差範囲内でそれより焼鈍による影響の方が圧倒的に大きい。 B_s は焼鈍時間にかかわらず約17500 Gaussであり、総体的に変化が認められない。当然鉛含有量の分だけは低下するわけであるが充分測定誤差の範囲内である。

B_r のみは0.1%附近の鉛含有のところで約12000 Gaussに一部低下する変化を見せている。これはヒステリシス曲線の肩がなだらかとなることを意味し、従来、結晶粒度が小さくなることや、炭素などの粒内不

純物の増加に対応する性質変化といわれているが、これが鉛とどう関係しているかは未詳である。しかし、これは実用上の性質に特に悪い影響を与えることはなく、継電機用としてはむしろ好ましい性質といえる。

4. 鉛含有量変化による機械的性質への影響

Fig. 2 は鉛含有量による機械的性質の変化を調べた結果を示す。鍛造のまま850°C、4 hr 焼鈍後の性質を求めたが、鍛造後の焼鈍によって総体的に僅かなカタサおよび引張り強さの低下と絞りおよび伸びの上昇が見られる。焼鈍後、硬度 H_{RB} 約40、引張強さ約30 kg/mm²、絞り約80%、伸び約50%となって、鉛含有量による差はほとんど認められない。

5. 鉛含有量による被削性の変化

Fig. 3 は鉛含有量による切削抵抗と切屑厚さの変化を求めた結果を示す。50, 120, および240m/minの切

Fig. 2. Effect of Pb content on mechanical properties of pure irons.

Fig. 3. Effect of Pb content on cutting force and chip thickness.

削速度の場合について図示してある。まず切削主分力を見ると切削速度の全般において0.05%の鉛含有により既に鉛を含有しない場合に比べて著しく減少し、明らかな被削性の向上を示している。それから鉛含有量の増加にしたがって僅かづつ抵抗が減少し、0.21%に至って増加の様相を示している。これに対し、送り分力は鉛含有量の増加にしたがって切削速度のほぼ全般にわたって僅かづつ減少し、0.21%になって増加の様相を示している。切屑厚さは0.05%の鉛含有により既に大きい減少を示している。切削速度が遅い (50 m/min) 場合にはなお続いて鉛含有量の増加とともに減少していくのに対し、はやい切削速度 (120 m/min以上) においては鉛含有量による変化はほとんど認められないが、0.21%になると切屑厚さが増加する傾向を示している。これらの変化を総括して考察すると、快削性電磁純鉄において、鉛含有は0.05%において既に被削性向上の効果を有し、約0.20%までは十分有効であるが、それ以上の添加はほとんど意味を有しないといえる。

Fig. 4 は Fig. 3 の結果から単一剪断面切削理論によって、臨界剪断応力と剪断歪を算出し、鉛含有量とともに変化する様子を求めた結果を示す。臨界剪断応力は鉛の含有量が増加するとともに各切削速度の全般にわたってほぼ直線的に減少しているが、鉛含有量が0.21%になると増加する傾向を示している。剪断歪

Fig. 4. Effect of Pb content on shear stress and strain.

は鉛を0.05%添加することにより著しく減少するがそれ以上添加してもほとんど変化していない。鉛含有によるこれらの効果は、剪断加工の多い板材の場合、打抜性の改善にも寄与することができるものと予想される。

Photo. 2 は240m/minの切削速度で切削した時の鉛含有量による切屑形状の変化を示した。この場合、鉛を添加しない純鉄は切屑がつながって長くのびている。

るが、0.05%の鉛添加により既に細く破さいされているのがわかる。あと鉛含有量が増加しても切屑の状況はほとんど変わらない。写真ではわからないが、切屑の色は、鉛を含有しない純鉄では青白色を呈しているのに対し、鉛を含有するとほとんど紫色となっている。明らかに鉛含有により、切削時の温度が低くなっていることを示す。鉛含有量によって切屑の色の変化は見分けられなかった。

non-Pb

0.05% Pb

0.12% Pb

0.18% Pb

0.21% Pb

Tool : K10 33-0.0.0.7.7.0.10.0

Feed : 0.1mm/rev

Depth of cut : 1.0 mm

Cutting speed : 240 m/min

Photo. 2. Effect of Pb content on chip shapes.

Fig. 5. Effect of cutting speed on cutting force and chip thickness.

Fig. 5 は鉛含有量変化の各材料について、30～240 m/min に切削速度を変化して、切削試験を行なった結果を示す。鉛の添加により総体的に切削主分力および送り分力が低下し、切屑厚さも減少している。まず始め切削速度が30 m/min より50 m/min になると、切削主分力および送り分力が各材料とも大きく低下し、切屑厚さも減少している。これからさらに切削速度を上げてゆくと、切削速度の増加とともに、主分力・送り分力とも低下し、切屑厚さは減少して被削性が向上し、切削速度が200 m/min までこの傾向が続いている。切削速度が240 m/min になると送り分力に増加を示すところが見われ、主分力も低下の傾向がうすれている。

Fig. 6 は Fig. 5 の結果を単一剪断面切削理論によって臨界剪断応力と剪断歪を算出し、切削速度との関係を求めた結果である。まず臨界剪断応力、剪断歪とも鉛含有によって、試験した切削速度の全般にわたって低くなっていることが知られる。臨界剪断応力は切削速度が30 m/min より50 m/min になると著しく低下し、それから切削速度が上昇しても低下は僅かにとどまっている。その後240 m/min になって若干増加するとき傾向をみせている。剪断歪は切削速度の増加とともにほぼ単調に減少し240 m/min になって

Fig. 6. Effect of cutting speed on shear stress and shear strain.

もこの傾向は変わらない。工具摩耗の試験は行っていないが、以上の結果を総合し、本快削性電磁純鉄の切削に当り切削速度としては50～200 m/min くらいが、その快削性を有効に発揮する範囲であるといえることができる。240 m/min は上限といえよう。

6. 結 言

快削性を附与した電磁純鉄について0.21%までの鉛含有量による磁性、機械的性質および被削性への影響について調査した結果を報告した。この程度の鉛の含有は磁性その他の特性に本質的な影響を与えないものごとくで、しかも被削性を著しく向上している。実験により得られた結果をまとめると次のごとくである。

- (1) 鉛を0.21%含有しても磁性には実用上影響しない。
- (2) カタサ、引張強さなどの機械的性質にも影響しない。
- (3) 被削性は0.05%の鉛含有により充分に改善することができる。それ以上含有しても被削性改善の割合はあまり大きくなり、0.21%になるとやや悪化の傾向を示す。
- (4) 本快削性電磁純鉄において、切削速度は50～200 m/min (以下224頁へ続く)

し脆性の感受性を軽減することが報告されている²⁸⁾。

Fig. 9 は冷間加工によって格子欠陥を導入した基本鋼の衝撃値を示すもので、普通圧延後の冷間加工だけでは切欠靱性は改善されず、析出場所を多少変えても切欠靱性に対してはあまり効果のないことが推定できる。また本鋼における切欠靱性値の低下は時効硬化鋼の本質であり、いわゆる焼もどし脆性による脆化ではないことは Fig. 6 とあわせて推測されることである。しかし、100 hr の時効処理を施した普通圧延材の粒界に認められた毛状の NiAl 相³⁾ が温間加工材では認められず、したがって、温間加工によって結晶粒界や基地鉄中における析出が遅滞されることは明らかである。しかし、これが衝撃値に対してどのような影響を持つのか今のところ明らかではない。

5. 結 論

- (1) 時効硬化型構造用鋼の切欠靱性は 650～850 °C の温間加工によって向上する。
- (2) 温間加工の条件としては切欠靱性の改善効果をもっとも大きく、かつ加工率の影響の少ない 700 °C が最適である。
- (3) 微量 Ti の添加はこの温間加工の効果を一層助長する。
- (4) 温間加工による靱性改善の主原因としてフェライト結晶粒の微細化、炭化物の微細化、かつ均一分散化を挙げた。

文 献

- 1) 渡辺, 浅田; 電気製鋼, **37**(1966)2, 41
- 2) 渡辺, 浅田; 電気製鋼, **37**(1966)3, 130
- 3) 渡辺, 浅田; 日本金属学会, 強化鋼シンポジウム 予稿 No. 1 (昭和42年10月)
- 4) 青木; 学振 129 委員会第4分科会講演資料 (昭和41年)
- 5) A. Ludlum; Almar. Mar-Aging Steel.
- 6) M. Gensamer; Trans. AIME, **215**(1959)2,
- 7) H. H. Kranzlein; ibid, **233**(1935), 6
- 8) N. J. Petch; "Fracture" (1959). 54 John Willy and Sons, New York
- 9) J. Gorrisen; JISI, **162**(1965), 16
- 10) J. M. Hodg. H. D. Manning H. M. Reichhold; Trans. AIME, **185**(1949), 233
- 11) N. I. Sander, Sh. R. Dobruskina, L. K. Zadorgzhna; STAL, **3**(1966), 267
- 12) R. Phieeips, J. A. Chapman; JISI, **201**(1963), 615
- 13) W. B. Morrison, J. H. Woodhead; ibid, 201 (1963), 43
- 14) J. H. Gross, R. D. Stout; Weld. J. 30—10 (1951), 481S
- 15) J. H. Gross, R. D. Stout; ibid, 34—3(1955), 117—S
- 16) J. C. Danko, R. D. Stout; Trans. ASM, **49** (1957), 189
- 17) 渡辺, 福井, 加藤, 浅田; 電気製鋼, **39**(1968), 96
- 18) 金子, 田中; 日本金属学会会報, **7**(1968), 199
- 19) R. D. Doherty, J. W. Martin; J. Inst. Metals, **91**(1962/3), 332
- 20) F. J. Humphreys, J. W. Martin; ibid, **14** (1966), 775
- 21) H. J. Humphreys, J. W. Martin; ibid, **14** (1966), 793
- 22) P. R. Mould; Ph. D. Thesis, University of London, (1965)
- 23) J. L. Brimhall, M. J. Klein, R. A. Huggins; Acta. Met., **14**(1966), 459
- 24) 吉田, 渡辺, 加藤; 電気製鋼, **38**(1967), 350
- 25) Mc Eviley; Trans. ASM, **55**(1962), 654
- 26) R. H. Bush; A. S. M. Trans. Quart., **57** (1964), 991
- 27) A. M. Turkalo; Trans. AIME, **218**(1960), 24
- 28) A. S. Keh, W. C. Porro; Trans. ASM, **52** (1960), 81

(214頁より続く)

/min にとるのが適切である。

終わりに、本研究に当り、切削試験に協力された大同工業大学の学生諸君に感謝致します。

〔文 献〕

- 1) 加藤, 富岡; 電気製鋼, **38**(1967), 2
- 2) 浅田, 藤原, 門脇, 村治; 電気製鋼, **36**(1960), 183
- 3) 荒木, 谷地; 鉄と鋼, **49**(1963), 1490