電子制御式燃料噴射装置のインジェクター用 新電磁ステンレス鋼の開発

斎藤章彦^{*1)} 矢萩慎一郎^{*2)} 岩井克夫^{**1)}
竹内桂三^{**2)} 黒宮章夫^{**3)}

1. はじめに

最近のカーエレクトロニクスの進展と共に、自動車エンジンの電子制御による燃料噴射装置の装着率が伸びている。今後ますます装着率が増加するものと期待される。従来、電子制御式燃料噴射装置のインジェクター用材料としては、ハウジング材には低炭素鋼、コネクタ材としては快削電磁ステンレス鋼 MER1F⁽¹⁾が広く利用されてきた。今回初めて有限要素法を用いた磁場解析を行い、インジェクターの応答性と、材料特性(透磁率、磁束密度、電気抵抗等)の関係を明らかにし⁽²⁾、その結果と製品加工工程や使用環境等の検討から、インジェクター用材料として、新しい電磁ステンレスを開発した。

2. 開発の概要

インジェクターに要求される主要項目は、①電磁弁の応答性向上(噴射量制御幅の向上)、②最低作動電圧向上(吸引力確保)、③生産性向上(冷鍛性向上)、④工程省略(塗装省略可能なこと)である。これらの性能を満足させるためには、合金の特性として、①電磁気特性の向上、②磁束密度の確保、③低変形抵抗、④耐食性の確保等が考えられる。

従来、インジェクターの応答性向上については、磁気回路がエアギャップを含み複雑であること、コイルへの印加電圧がパルスであり動特性であること等から定量的な解析が十分に行われず、従来、単に定性的に高透磁率で高磁束密度等を有し、かつ低渦電流損失とするためなるべく高い電気抵抗をもつ合金が求められていた。

一方、最近、有限要素法を用いた磁場解析技術が急速に進歩し、非線型材料を含んだ動磁場解析も可能となっ

た。そこで、インジェクターの動作解析に磁場解析技術を適用し、応答性と構成部品の電磁気特性の関係を定量的に明確にすることにより、合金設計の指針を明確にした。一方、工業的には、より高効率低コストの加工方式が指向され、切削加工から、ニアネットシェイプ加工が可能な冷間鍛造(または冷間鍛造と切削加工の組合せ)等へと生産方式が変化している。従って、インジェクターとしても、電磁気特性の他に、さらに、冷間鍛造性も具備した合金開発が必要となる。

(1) インジェクターとは

図1にインジェクターの構造⁽³⁾を示す。ソレノイドコイルに、 $f=5\sim 100$ Hzの周期性のあるパルス電圧(14 V)を印加する。スプリングによって押さえられていたコアは、発生した電磁力によって吸引され、コアと一体のニードルバルブが動き、噴口部に空間が生じ、図1の通路でガソリンが噴射される。ソレノイドコイルに電圧が印加されていない時は、スプリングによってニードルバルブがシート面に押しつけられ、噴口部は閉じ、ガソリンは流れない。図2に印加電圧とニードルリフトを示す。コイルに印加された電圧信号に対してニードルがいかにか素早く動くかが問題になる。ここで応答性は、開弁時間 T_o 、閉弁時間 T_c で評価できる。

インジェクターの断面写真。

図1 インジェクターの構造。

* 大同特殊鋼株式会社新素材研究所

1) 係員 2) 室長

** 日本電装株式会社生産技術部

1) 主監 2) 主任 3) 一般

New Magnetic Stainless Steel for Electronic Fuel Injector; A. Saito*, S. Yahagi*, Y. Iwai**, K. Takeuchi**, A. Kuromiya** (*Daido Steel Co., Ltd.

**Nippondenso Co., Ltd.)

1990年1月31日受理

図2 印加電圧とニードルリフト。

(2) 磁場解析

図3に磁場解析の条件等を示す。磁気回路を形成する部品としては、コア、コネクター、ハウジングがある。印加電圧を14 V、パルス幅を4 ms、ステップ数を28とし、解析した吸引力を図4に示す。吸引力が10 Nに達した時点で弁が動くと考え、そこに至る時間を T_0 とし応答性を評価した。図5に T_0 に及ぼす電気抵抗の影響を示すが、電気抵抗を高めると、 T_0 が短くなり、応答性が向上することが定量的に分かる。応答性向上効果は低電気抵抗の場合に著しく、約 $1.00 \mu\Omega\text{m}$ 付近では向上効果が小さくなるのが分かる。透磁率、磁束密度についても解析したが、 T_0 に対してはほとんど影響が認められなかった。

また、 T_c も、電気抵抗を高めることによって、応答性が向上する結果を得た。

(3) 合金設計

磁場解析の結果、インジェクターの応答性を向上させるには、材料の電気抵抗を高めることが有効であることが分かった。そこで、電気抵抗に及ぼす添加元素の影響を調べた。図6に添加元素と電気抵抗の増分を示す。電

図4 印加電圧と吸引力。

気抵抗を高めるには、Al, Siの添加が有効である。一方、生産性の向上から、冷間鍛造性に優れた材料へのニーズが高まっている。冷鍛性としては、特に金型寿命の長いことが要望され、そのためには、被冷鍛材の変形抵抗を出来るだけ低めにする必要がある。図7に添加元素と引張り強さの増分を示す。Nb, Si, Moは、引張り強さを著しく増加し、冷鍛性を悪くする。一方、Al添加による強度の増加は少ないことが分かる。次に、磁気特性(保磁力の増分)と添加元素の関係を図8に示す。Nb, Moは大幅に磁気特性を劣化させた。また、Alの添加が耐食性に対して有効であることが確認できた。

これらの結果から、Fe-Cr(>13%)をベースにAlを添加し、Si, C, N等を低く抑えることにより、高電気抵抗でかつ変形抵抗の上昇が少なく、耐食性良好な合金シリーズを開発した。

3. 特性、特徴

表1に開発合金シリーズの主な成分と特徴を示す。目的に応じて、それぞれの成分を選択することができる。

表2に電磁気特性、表3に機械的特性を示す。RM800シリーズは、冷鍛性を重視した材料で、高電気抵抗($\rho=0.46\sim0.64 \mu\Omega\text{m}$)と、Si, C, N等を極低目とすることにより良好な冷鍛性を有している。また、快削元素の添加により良好な被削性を有している。

RM700シリーズは、高電気抵抗を狙った材料である。

磁場解析 (軸対称2次元線形磁気解析)

磁場解析の条件	
モデル	軸対称モデル
節点数	630
要素数	約500
ステップ数	28
入力項目	1311山線 (2次元線形)
	電気抵抗
	コア、コネクター、HJ
ギャップ距離	1.250 mm

モデル図

図3 磁場解析の条件。

図5 電気抵抗と応答性(ΔT_0)。

図6 添加元素と電気抵抗の増分。

図7 添加元素と引張り強さの増分。

表 1 主な成分と特徴.

	鋼 種	主 な 成 分	電磁気特性	冷鍛性	被削性	耐食性
開発材	RM 800 シリーズ	13 Cr-若干~0.6%Al-極低 Si	○	◎	○	○
	RM 700 シリーズ	13 Cr-1~2.5%Al-極低 Si+Nb, Pb 添加	◎	○	○	○
	RM 900 シリーズ	18 Cr-1%Al-極低 Si	○	○	○	◎
比較	MER1F	13 Cr-0.3%Al-0.8 Si-Pb 添加	○	△	◎	○

◎: 極めて良好 ○: 良好 △: やや劣化

表 2 電磁気特性. (磁気焼鈍: 850°C-2 h)

	鋼 種	磁束密度, B_{20} (G)	保磁力, H_c (Oe)	透磁率 (μ m)	電気抵抗, ρ ($\mu\Omega$ m)
開発材	RM 800 シリーズ	13100~13700	0.8~1.7	3000~6500	0.463~0.638
	RM 700 シリーズ	12300~13400	1.3~2.2	2500~4200	0.734~0.997
	RM 900 シリーズ	12500~12800	0.6~0.8	8400~8600	0.755~0.770

表 3 機械的性質. (磁気焼鈍: 850°C-2 h)

	鋼 種	0.2%耐力 (MPa)	引張り強さ (MPa)	伸び (%)	絞り (%)
開発材	RM 800 シリーズ	192~215	364~367	49.4~51.3	82.3~84.4
	RM 700 シリーズ	227~298	381~433	51.2~54.3	83.6~85.8
	RM 900 シリーズ	241~256	385~401	49.4~51.5	87.0~90.7

図 8 添加元素と保磁力の変化.

図 9 開発マップ.

図10 電気抵抗と応答性(ΔT_0).

Alを1~2.5%添加することによって、電気抵抗($\rho=0.74\sim1.00\mu\Omega\text{m}$)を高め、Si, C, N等を極低とすることにより冷鍛性の確保も図った。さらに、Pb添加により被削性も良好である。

RM900シリーズは、さらに高耐食性を狙い、18CrをベースにAlを添加した合金である。冷鍛性を確保するため、Si, C, N等を極低とした。開発合金の特徴をまとめて図9に示す。

4. 用途使用例

現在、RM800シリーズは、インジェクターのハウジング用材料として使われており、量産実用化されている。

つぎに、RM700シリーズとMER1Fをハウジングに使った時の応答性(T_0)の向上効果を図10に示す。磁場

解析で予想した通り材料の電気抵抗を高めることにより、応答性が向上することが分かった。

今後、磁気回路を形成する部品の材料開発においては、磁場解析を用いた材料開発がますます重要な意味を持って来るものと考察される。

5. 特 許

特願昭63-120383等他

文 献

- (1) 加藤哲男, 関尾 勲, 草加勝司: 電気製鋼, 41(1970) 127.
- (2) 矢萩慎一郎, 斎藤章彦, 竹内桂三, 黒宮章夫: 日本金属学会秋期講演概要, (1989), 348.
- (3) 藤沢英也, 小林久徳: 電子制御ガソリン噴射, 山海堂, (1987), p. 63.