

# 加工性と磁気特性に優れる 高速回転マイクロモータ用電磁鋼板<sup>\*1</sup>

河野 正樹<sup>\*2</sup> 岡村 進<sup>\*3</sup> 藤山 寿郎<sup>\*4</sup>

## Non-oriented Electrical Steels Having Excellent Magnetic Properties and Punchability for High Speed Micro Motors

Masaki Kawano Susumu Okamura Toshiro Fujiyama

### 1 はじめに

デジタル情報化社会の進展により、各種情報機器の小型化・高速化が急速に進んでいる。たとえば、パソコン関連では、ハードディスクドライブ (HDD) や CD-ROM をはじめとする各種光学ドライブなどの小型化の動きが急で、記録密度の増大とともにその一分間の回転数は従来の数千回転から 1 万回転以上になりつつある<sup>1,2)</sup>。さらには OA 機器のデジタルコピーやプリンタの高速化も始まっている<sup>3)</sup>。

これらの機器の小型化・高速化に重要な役割を担っているのが、アクチュエータとしてのマイクロモータである。このモータに対しては、長時間のバッテリー駆動を可能とする低消費電力・高効率や低騒音などの特性要求が年々厳しくなっており、モータのコア材料である電磁鋼板にも高特性化が要求されている。

高速回転マイクロモータの代表で、厳しいモータ機能が要求される HDD 用スピンドルモータ<sup>2)</sup>は、上述のように 1 万回転にも及ぶ高速回転で使用され、その際 400 Hz ~ 1 kHz の高周波で駆動する。したがって、マイクロモータコア用の電磁鋼板としては、鋼中 Si 含有量を高め 高周波域の鉄損特性を改善したものが要求されている。しかしながら、Si は鋼板の硬度を高めてコア打抜き時の金型摩耗を増大させる欠点も有しているため、磁気特性と加工性を両立させることが必要となってくる<sup>4)</sup>。

川崎製鉄では、上記の要求に対して、加工性を劣化させない低い硬さと高周波域の優れた磁気特性を合わせ持つ 20RMHF シリーズを開発した。

以下に、その特徴および適用例と、さらなるマイクロモータ特性改善方法について紹介する。

### 2 開発の要点

一般に鉄損 ( $W$ ) は履歴損 ( $W_h$ ) と渦電流損 ( $W_e$ ) に分離され、下記のように表される<sup>5)</sup>。

$$W = W_h (\text{履歴損}) + W_e (\text{渦電流損}) \\ \propto Af/D + BDt^2f^2/\rho (A, B: \text{組織因子パラメータ}) \dots (1) \\ (D: \text{結晶粒径}, \rho: \text{電気抵抗率}, t: \text{板厚}, f: \text{周波数})$$

高周波域での鉄損低減には、周波数 ( $f$ ) の 2 乗に比例する渦電流損の低減、すなわち板厚 ( $t$ ) の低減が最も有効で、次に Si に代表される高電気抵抗率 ( $\rho$ ) を持つ元素の添加が効果的である。一方、履歴損低減には、結晶粒径の粗大化や析出物低減及び集合組織改善などの組織制御が有効となる<sup>6)</sup>。

鉄心打抜き時の金型摩耗は、鋼板中の Si 含有量が増して硬さが増すにつれて増大することが知られており<sup>5)</sup>、現在のところ生産性を阻害しない許容上限の硬さとしてピッカース硬さ (Hv1) で 200 以下が求められている。この改善には、Si に代わる高電気抵抗率をもつ元素の添加が有効となる<sup>4)</sup>。

- 本開発鋼は、以上の知見を基本に以下のポイントにより開発した。
- (1) 板厚低減と電気抵抗率増大及び組織制御による高周波鉄損の低減
  - (2) 鉄心打抜き時の金型摩耗を抑制するための鋼中成分の最適化 (Hv1  $\leq$  200)

### 3 開発材の特徴

#### 3.1 磁気特性と機械特性

Table 1, 2 に開発材の代表的な磁気特性と機械特性を、商用周波数域で最も低い鉄損を有する板厚 0.35 mm の 35RM210 と比較して示す。また、Fig. 1 に開発材の高周波鉄損  $W_{10/400}$  と硬さおよび磁束密度の関係を 0.35 mm の JIS グレード材と比較して示す。

開発材である 20RMHF1200, 1500 と商用周波数を超える 400 Hz, 1 kHz の高周波域で従来材にない優れた鉄損特性を持つ。また、開発材は 35RM210 に比較して 磁束密度  $B_{50}$  が 20RMHF1500 で 0.01 T, 20RMHF1200 で 0.02 T 高いものが得られており、低鉄損化による高効率化と同時に高磁束密度化によるモータのトルク向上、小型化にも寄与できる製品である。

特に 20RMHF1200 は、400 Hz の鉄損において 11.0 W/kg と

\*1 平成14年5月17日原稿受付

\*2 技術研究所 電磁鋼板研究部門 主任研究員(課長)

\*3 水島製鉄所 商品技術部商品技術室 主査(課長)

\*4 水島製鉄所 商品技術部電磁鋼板室 主査(課長)

Table 1 Typical magnetic properties of RMHF series

Grade	Thickness (mm)	Density (g/cm <sup>3</sup> )	Iron loss (W/kg)				Flux density (T)	
			$W_{10/50}$	$W_{15/50}$	$W_{10/400}$	$W_{10/1k}$	$B_{25}$	$B_{50}$
20RMHF1200	0.20	7.65	0.85	2.08	11.0	41.9	1.58	1.67
20RMHF1500	0.20	7.65	1.05	2.49	12.8	46.5	1.57	1.66
Conventional* (35RM210)	0.35	7.60	0.84	2.03	15.8	68.0	1.56	1.65

\*Material with the lowest iron loss in the commercial frequency range

Table 2 Typical mechanical properties of RMHF series

Grade	Thickness (mm)	Yield point (N/mm <sup>2</sup> )		Tensile strength (N/mm <sup>2</sup> )		Elongation (%)		Hardness, Hv1
		L	C	L	C	L	C	
20RMHF1200	0.20	375	388	496	515	16	16	199
20RMHF1500	0.20	370	377	481	497	19	19	187
Conventional* (35RM210)	0.35	432	450	555	574	18	19	225

\*Material with the lowest iron loss in the commercial frequency range

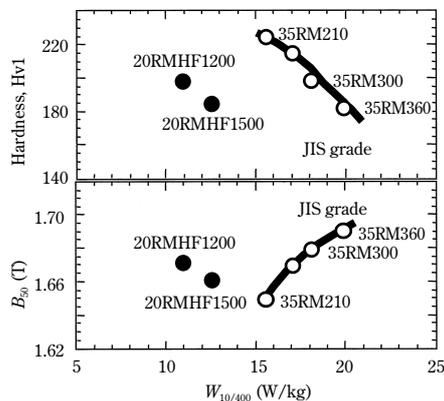


Fig. 1 Magnetic properties and hardness of RMHF and RM series

35RM210 に比べ 30% も鉄損が改善する最高級グレード材で、成分の制御により硬さを Hv1 で 200 未満とすることにより打抜き性を劣化させることなく 400 Hz ~ 1 kHz の高周波域での低鉄損化を達成したものである。Fig. 1 に示すように、同一硬さで比較すると、35RM300 と同等の低い硬さを持ちながら、 $W_{10/400}$  で約 7 W/kg 改善した低鉄損材料となっている。

### 3.2 コーティング

当開発材には、川崎製鉄の汎用コートである半有機コーティング (A1 コート) をはじめ、後述するようにマイクロモータの高効率化に寄与する接着型コーティング (B コート) の適用も可能である。

## 4 使用例

20RMHF1200, 20RMHF1500 は、その優れた高周波特性と加工性を特徴に、HDD 用のスピンドルモータや CD-ROM などの光ディスク用のスピンドルモータに適用され、好評を得ている。また、携帯電話の超小型の振動モータコアにも適用されている。

板厚 0.50 mm や 0.35 mm の電磁鋼板からなる一般のモータコアは、鋼板を金型で打ち抜いた後、かしめや TIG 溶接により固定される。当初、マイクロモータに使用される 0.2 mm の鋼板はその薄い板厚のためにかしめによる固定が困難であったが、金型の精度向上により、直径 30 mm 程度のモータコアのかしめは工業的に可能

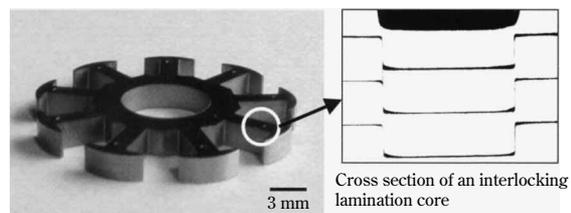


Fig. 2 Appearance of a HDD motor core and the cross section of an interlocking lamination core

となっている。また、高精度のレーザ溶接を用いることにより溶接による固定も可能である。開発材の 20RMHF1200 をかしめて固定したコアの一例を Fig. 2 に示す。板厚 0.20 mm にもかかわらず、かしめ部分は高精度にかしめり、積層コアとして十分な強度をもつものが得られている。板厚 0.20 mm の鋼板においても、高精度金型を用いることにより、生産性の高いかしめコアの製造が可能である。

## 5 マイクロモータへの適用時の課題と改善方法

通常、マイクロモータは、Fig. 2 に示すように、細いティースにその幅の半分以上を使用したかしめやレーザ溶接により固定され、そのままモータコアとして供される。この状態では、打抜き時の剪断歪やかしめ部分の弾塑性歪さらにはレーザ溶接部分の熱歪が残存したままである。直径が数 cm のコアにおいてはこれらの歪の影響は無視できず<sup>3)</sup>、鉄損は著しく劣化し、鋼板の本来の磁気特性をいかに至っていないと思われる。

マイクロモータコアのさらなる特性改善方法として、(1) コアの歪取焼鈍 (750°C × 2 h) (2) 接着型コーティングの適用<sup>7)</sup>が有効と考えられ、以下にその効果について紹介する。

### 5.1 かしめの鉄損への影響とその改善

かしめによる鉄損劣化挙動を把握するために、かしめたリングコアの鉄損を調査した。用いたコアは、かしめにより積層固定した小型リングコア (内径  $\phi 35$  mm 外径  $\phi 55$  mm)、かしめずにテープで固定したかしめなしのコアおよび接着型コーティング (B コート) を塗布した鋼板を接着固定したコアの 3 種類である。鋼板は 20RMHF1500 を使い、かしめは 6 ケ所  $4$  mm  $\phi$  の丸かしめを用い

Table 3 Improvement in iron loss of a HDD motor core on SRA

Material	Dimension of HDD stator core	Condition of the core	Ratio of iron loss	
			$W_{15/50}$	$W_{5/1k}$
20RMHF1500	Diameter of stator core: < 30 mm Thickness of stator core: < 5 mm	As interlocked	1 (standard)	1 (standard)
		After SRA*	0.61	0.53

\*Condition of stress relief annealing (SRA): 750°C × 2 h in N<sub>2</sub>

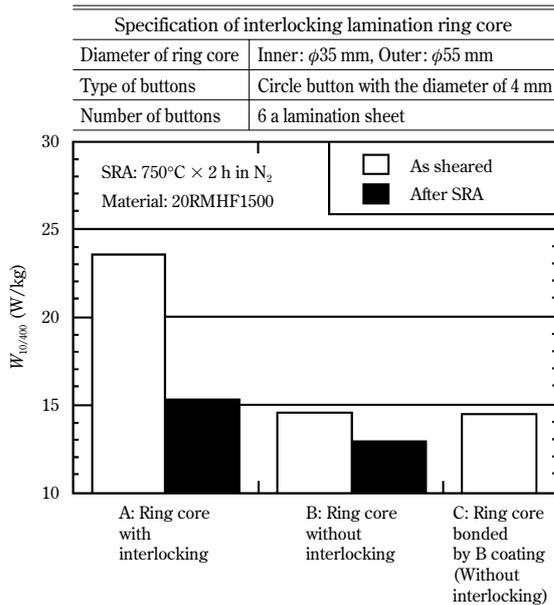


Fig. 3 Comparison of iron loss of ring cores made in three kinds of methods before/after SRA

た。打抜き直後の鋼板からなるコアの鉄損を測定した後、N<sub>2</sub>中で750°C 2 hの歪取焼鈍をして再度測定した。結果を、Fig. 3に示す。

Fig. 3に示すように、歪取焼鈍前のコア鉄損 ( $W_{10/400}$ ) はかしめにより62%も劣化し、かしめによる歪が鉄損に大きく影響していることが分かる。さらにこれらのコアを歪取焼鈍すると鉄損は大きく改善するものの、かしめコアはかしめなしコアより  $W_{10/400}$  で2.6 W/kg劣化したままである。これは、歪取焼鈍によりリングコア内外周の剪断歪が回復してもかしめ部分の弾性歪が特性を劣化させている、または、かしめ部の渦電流により劣化するものと解釈される。歪取焼鈍後のかしめコアの鉄損は、前述のように歪取焼鈍前のかしめなしコアよりも0.7 W/kg劣るものの、その鉄損は歪取焼

鈍により十分改善する。コア鉄損を改善する方法として、コア固定後の歪取焼鈍が有効であることが分かる。

一方、剪断歪が残留するもののかしめを必要としない接着コアは、歪取焼鈍後のかしめコアと同等以上の優れた鉄損を示す。このことから、Bコート鋼板を利用した接着によるコア固定方法が、歪取焼鈍と同等以上の鉄損改善効果を有する方法であることが分かる。

Bコート鋼板を積層固定したコアを用いたモータは、歪劣化が少なくコアの剛性が高まるため、モータ効率や騒音の点で有効であることが知られている<sup>7)</sup>。通常のモータより小型で、剪断歪やかしめの影響を受けやすいマイクロモータへのBコート鋼板の適用は、モータ高効率化の有効な手段となり得る。

## 5.2 マイクロモータコアでの測定例

マイクロモータのステータコアにおける歪取焼鈍前後の鉄損比較をTable 3に示す。鋼板は、20RMHF1500を用い、鉄損はステータコアのリング部分に巻線をして測定した。歪取焼鈍(750°C, 2 h)により鉄損は  $W_{15/50}$  で39%、 $W_{5/1k}$  で47%も改善し、歪取焼鈍がモータコアの鉄損を大幅に改善する手段であることが確認できる。

## 6 まとめ

情報機器用マイクロモータの小型化・高速化に適応した、加工性と数百 Hzの高周波磁気特性にすぐれる板厚0.2 mmの電磁鋼板20RMHF1200, 20RMHF1500を開発した。当鋼板は、HDD用スピンドルモータをはじめとする高速回転マイクロモータ用コア材に採用され、好評を博している。これらのモータ特性は、歪取焼鈍や接着型コーティング(Bコート)を塗布した鋼板を適用することでさらに改善が可能と思われる。

川崎製鉄は、これら最先端技術市場のニーズに素早く対応した高機能な電磁鋼板の開発を手がけることで、IT産業の技術革新に貢献していく。

## 参考文献

- 1) 近岡 裕:「Nikkei Mechanical」, (2000)545, 20
- 2) 福田良明, 渡辺秀次, 小峰重久, 久保章雄: 電気学会回転機研究会, RM-00(2000)165, 43
- 3) 渡辺 智編著:「情報機器用モータ技術」, (2001), [日刊工業新聞社]
- 4) 酒井敬司, 河野正樹, 藤山寿郎: 川崎製鉄技報, 33(2001)2, 92
- 5) 小原隆史: 第155回西山記念講座, 151
- 6) K. Matsumura and B. Fukuda: *IEEE Trans. Mag.*, 20(1984), 1533
- 7) 小森ゆか, 足立重好, 寺嶋 正: 川崎製鉄技報, 29(1997)3, 187