
川崎製鉄の無方向性電磁鋼板の歴史と最近の進歩

History and Recent Development of Non-Oriented Electrical Steel in Kawasaki Steel

本田 厚人 (Atsuhito Honda) 小畑 良夫 (Yoshio Obata) 岡村 進 (Susumu Okamura)

要旨：

川崎製鉄は、1954 年に無方向性冷延電磁鋼板の製造を開始して以来種々の電磁鋼板を開発してきた。そして優れた電磁特性を有するのみならず打ち抜き性、溶接性、厳しい厚み精度、適正な機械的性質を兼ね備えた無方向性電磁鋼板を開発し、かつそれらを大量生産する技術、設備、システムを確立した。最近では、低鉄損の 50RM230、高透磁率の RP シリーズ、歪取焼鈍後に低鉄損を示す RMA シリーズ等の新製品を開発した。これらの製品は、家庭電化製品用モータなどに対する効率改善、省エネルギーの観点からの最近の厳しい要求を満足させるものとして期待されている。

Synopsis：

Since the first production of cold rolled non-oriented electrical steel strip in 1954, Kawasaki Steel has developed various kinds of electrical steels, and has established mass production techniques, facilities and systems for producing non-oriented electrical steels having not only excellent magnetic properties but also good punchability, weldability, severe tolerance of thickness and appropriate mechanical properties. Recently, new products such as 50RM230 of the lowest iron loss, RP series of high induction, and RMA series of low iron loss, secured after SRA(stress relief annealing), were developed. These are expected to meet customers' requirements from the viewpoint of energy saving and efficiency improvement of motors for home appliances of late years.

(c)JFE Steel Corporation, 2003

本文は次のページから閲覧できます。

History and Recent Development of Non-Oriented Electrical Steel in Kawasaki Steel



本田 厚人
Atsuhito Honda

技術研究所 電磁鋼板
研究部門 主任研究員
(課長)



小畑 良夫
Yoshio Obata

電磁鋼板セクター室長



岡村 進
Susumu Okamura

水島製鉄所 管理部電
磁鋼板管理室 主査
(課長)

要旨

川崎製鉄は、1954年に無方向性冷延電磁鋼板の製造を開始して以来種々の電磁鋼板を開発してきた。そして優れた電磁特性を有するのみならず打ち抜き性、溶接性、厳しい厚み精度、適正な機械的性質を兼ね備えた無方向性電磁鋼板を開発し、かつそれらを大量生産する技術、設備、システムを確立した。最近では、低鉄損の50RM230、高透磁率のRPシリーズ、歪取焼鈍後に低鉄損を示すRMAシリーズ等の新製品を開発した。これらの製品は、家庭電化製品用モータなどに対する効率改善、省エネルギーの観点からの最近の厳しい要求を満足させるものとして期待されている。

Synopsis:

Since the first production of cold rolled non-oriented electrical steel strip in 1954, Kawasaki Steel has developed various kinds of electrical steels, and has established mass production techniques, facilities and systems for producing non-oriented electrical steels having not only excellent magnetic properties but also good punchability, weldability, severe tolerance of thickness and appropriate mechanical properties. Recently, new products such as 50RM230 of the lowest iron loss, RP series of high induction, and RMA series of low iron loss, secured after SRA(stress relief annealing), were developed. These are expected to meet customers' requirements from the viewpoint of energy saving and efficiency improvement of motors for home appliances of late years.

1 緒 言

無方向性電磁鋼板は、特定方向に偏らない磁気特性を有することから、主として発電機や電動機など回転機の鉄心用素材として用いられ、また打ち抜きなどの加工性が方向性電磁鋼板より優れているため、小型電源トランスなど静止機器材料としても広く使用されている。したがって無方向性電磁鋼板はその進歩が電気機器の発展、特に高効率化による省電力に大きく寄与する重要な材料である。無方向性電磁鋼板の特徴は、その用途が低鉄損を必要とする大型回転機から、高磁束密度が要求される小型電気機器まで広い範囲にわたることにある。これに対応して、Si量を約3%含有する高級無方向性電磁鋼板からほとんどSiを含まない低級品まで種類と規格が多く、電磁特性、厳格な板厚精度、打ち抜き性、コーティングによる絶縁性、耐食性、加工法に応じた機械的性質、溶接性の付与など多岐にわたる性能が要求される。

川崎製鉄における電磁鋼板の製造は1930年代初期の熱延ケイ素鋼板製造に端を発している。1954年にはRMコアの名称で冷延無方向性ケイ素鋼板(400mm幅のコイル)の生産を開始し、1959年以降は、広幅化と各規格の品揃えを経て、質、量ともに安定した供給

体制を確立してきた。また、生産の自動化・高効率化、機器の小型化・高効率化・高機能化などの電気業界の新しい動きに対応して、最高級無方向性電磁鋼板50RM230、高磁束密度無方向性電磁鋼板RPシリーズ、歪取焼鈍後低鉄損無方向性電磁鋼板RAMシリーズなどの特徴ある新製品を開発してきた。

以下に川崎製鉄におけるこれらの無方向性電磁鋼板開発の歴史と、最近の進歩について、あらましを述べる。

2 無方向性電磁鋼板の開発の歴史

2.1 熱延鋼板から冷延鋼板への変遷

当初は切板状の熱延電磁鋼板をブルオーバーミルで製造していた。輸入に頼っていた鋼板の国産化を図るために設立した(株)川崎造船所製板工場(後の荻合工場)の薄板工場が、1927年の金融恐慌に耐えて、ようやく軌道に乗った頃であった。しかし第二次世界大戦後は原材料の悪化などもあり、鋼板の品質が著しく低下した。その改善を目的として電磁鋼板に関する研究を開始し、これが欧米に遅れていた電磁鋼板の開発を促進する一つの契機となった。この頃世界の薄板生産は切板から高品位・高生産性の鋼帯へ移行する試みが行われていた。川崎製鉄でも、1951年に西宮工場に半連続式熱間帯鋼圧延機が設置された。狭幅のストリップミルではあったが、

*平成9年10月8日原稿受付

これで圧延した熱延コイルをリバース式冷間圧延機で加工し、切板からコイルへの転換がはかられた。1954年には、戦後電気炉に頼っていた製鋼工程を銑鉄工場の平炉で再開すると共に、高温水素焼鈍技術を確立して、熱延電磁鋼板としては収米製品と遜色のない最高級品 T90 ($W_{10/50} \leq 0.9 \text{ W/kg}$) を開発し、冷延電磁鋼板 RM コアの生産を開始した。

一方、酸化膜を有しない冷延鋼板では絶縁コートの付与が不可欠であるため、コーティング組成と連続コーティング技術の開発も併行して進められ、1958年にリン酸塩系の塗布・焼付け型コーティング「D コート」を完成した¹⁾。そしてこれら冷延コイルの量産体制が確立された1966年、熱延電磁鋼板はその30有余年にわたる製造の歴史に幕を降ろした。

2.2 広幅冷延電磁鋼板量産への展開

1951年に世界最新鋭を目指して開設した千葉製鉄所では、高炉や平炉の建設が進み、1958年にはホットおよびコールドストリップミルを設置するに及んで、ここで生産される広幅コイルを素材とした本格的な電磁鋼板工場を併合に建設することになった。翌1959年に銑鉄の電磁鋼板工場に連続焼鈍ラインが設置され、広幅の冷延無方向性電磁鋼板の生産を開始した。RM コアの製造は、50RM470~50RM600「RM18~23 クラス」から始まり、家電製品向け低ケイ素品と大型回転機用の高ケイ素品が次々と開発された。1960年代には、家電製品を初めとする民生用機器の生産が著しい伸びを見せていたが、これに使用する小型モータ用鉄心としては、鉄損が多少高くても磁束密度の高い材料が次第に求められるようになって、1961年には50RM800「RM40」を、また1963年にはSi量の少ない電磁鋼板 RK コアを発売した。RK コアは後年、50RM1000「RM50」、50RM1300「RM60」として多用される品種となった。

小型モータ用材料の高磁束密度、低価格への要求に対して、川崎製鉄はセミプロセス製品の開発にも同時期に着手し、1964年には、焼鈍後の鉄損が50RM700「RM30」クラスで、より高い磁束密度を持つハイパーコア「HPS」を発売している。需要家での歪取焼鈍を前提とするセミプロ材は、天然ガスが安価に入手でき、焼鈍コストの安い米国において旺盛な需要があった。この製品は基本的には最終焼鈍後のスキンパス圧延により微小な歪みを付与し、需要家での歪取焼鈍時に歪誘起粒成長による結晶粒粗大化で、ヒステリシス損を低減している。したがって低鉄損であると同時にSi量を低く抑えられるために磁束密度が高いという特徴をもつ。1982年には、透磁率が飛躍的に高い(1.5Tで $\mu \geq 4000$)セミプロ製品 Y コアの開発に成功した。この材料はSb添加による集合組織制御により圧延方向に特に優れた磁気特性を示すもので、EI コア用の素材として高い評価を得た。一方、モータ用素材としては透磁率の向上よりも、より低鉄損化が強く要求されるものも現われ、これに就いて1985年にはHPS-0が開発された。

一方、大型回転機に使用される高級無方向性電磁鋼板の開発に関しては、1962年に50RM330「RM11」相当品の製造が可能になったのに続いて、1966年には50RM310「RM10」が、また1970年には50RM290「RM9」が開発された。これら高級品は主に発電機用のヨーク材として、発電効率の向上を可能にし、省エネルギーに寄与してきた。

川崎製鉄の無方向性電磁鋼板には当初すべて前述のD コートが塗布された。D コートは耐熱性、耐食性に極めて優れていたため需要家での評価が良好でRM コアの急速な普及に大きく貢献した。この技術は今日まで長く使用されているとともに、ドイツの薬品メーカーにも技術供与された。その後、打ち抜き性改善要求が強まった

ことから、打ち抜き性に有利なPコート²⁾や、有機被覆を加えて打ち抜き性を飛躍的に改善したCコートなどが開発された。1974年には耐熱性、打ち抜き性、溶接性などの総合特性に優れた汎用コートとして半有機コート「A1コート」³⁾を開発し、その特性を改善しながら現在に至っている。

2.3 高級化、多様化への展開

前述のように、無方向性電磁鋼板の製品系列は、大型回転機用の低鉄損指向と小型モータ用の高磁束密度指向に2極分化していったが、川崎製鉄はJIS化(JISC2552)されたこれら系列の枠を越えて需要家の要求に一層適合する高機能材料の開発も積極的に展開してきた。

低鉄損の最高規格材の開発は、製鋼における脱Sを初めとする高純化技術の進歩に負うところが大きい。1978年に50RM270「RM8」を、1983年にはS、O、Nなどの不純物の極めて低い高純度鋼を素材として50RM250「RM7」を開発し⁵⁻⁷⁾、その後さらに鉄損の低い50RM230「RM6」の開発に成功した。Fig. 1に川崎製鉄の無方向性電磁鋼板の鉄損改善の歴史を示した。

これに対し高磁束密度化は、当初素材の低Si化とともに進んだが、1985年には、集合組織制御により、同じSi量でも B_{50} が0.02~0.03T高い超高磁束密度鋼板RPシリーズが製品化された。Fig. 2に川崎製鉄の無方向性電磁鋼板の磁束密度改善の歴史を示した。

さらに、歪取焼鈍後低鉄損鋼板の開発も進められた。小型化とともに低鉄損が重視されるコンプレッサーモータなどの分野では、鋼板は打ち抜き加工後に歪取焼鈍して使用される。この使用方法に適合して歪取焼鈍後に高磁束密度と低鉄損が両立して得られる材料を開発し、RMAシリーズとして製品化した。現在では最高級品種のRMA350まで製品化している。これらの製品系列の鉄損と磁束密度の関係をFig. 3に示す。

また北米を主向先とした高級セミプロセス製品も優れた特性で好評を博しているのは前述のとおりである。とくにSbまたはSnを

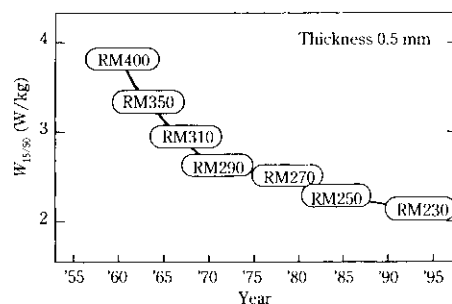


Fig. 1 Improvement of Iron loss in the best grade of RM

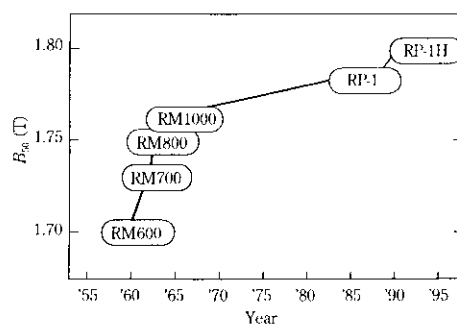


Fig. 2 Improvement of flux density in RM

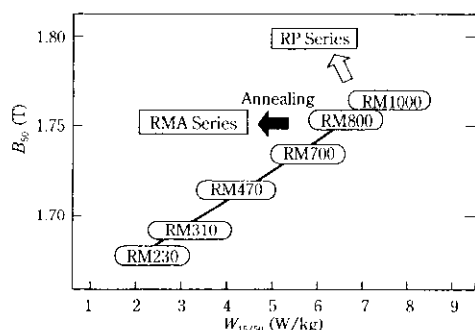


Fig. 3 Relation between magnetic flux density and iron loss (the values of RMA series were measured after stress relief annealing)

添加した高級セミプロセス製品の製造技術^{8,9)}は米国の鉄鋼会社数社へも技術供与されている。

高品質の電磁鋼板の製造には優れた設備と高度な一貫品質管理が不可欠である。この目的のために川崎製鉄は、1988年に冷延工程を担っていた荻合工場から水島製鉄所への生産移行を行い、最新鋭の設備と総合的な品質保証体制のもとで高品質の無方向性電磁鋼板製品を量産している。

3 無方向性電磁鋼板の最近の進歩

3.1 磁気特性に影響を及ぼす因子

無方向性電磁鋼板では用途に応じて種々の特性が要求されるが、そのなかでも大型回転機などに使用される最高級品位の鋼板では低鉄損が、小型化が要求される機器用には高磁束密度が要求される。また需要家で歪取焼鈍して使用される鉄心材料には低鉄損化のために良好な粒成長性が必要となる。このような多様な要求を満足させるために、磁気特性に影響を及ぼす金属学的因子を最適に制御して鋼板が製造されている。以下にその概要について述べる。

3.1.1 Si, Al添加量と板厚

鉄損は履歴損とわず電流損に分けられるが、さらにわず電流損は古典的わず電流損と磁区構造を考慮した異常わず電流損に分けられる。このうち古典的わず電流損 W_e は、

$$W_e = k(tfB)^2/\rho$$

で表わされる。ここで k : 定数, t : 板厚, f : 周波数, B : 磁束密度, ρ : 比抵抗を示す。

Si, Al添加量が多くなるほど鋼板の比抵抗 ρ が増加し上式にしたがって鉄損が減少する。しかし一方でこれら元素の添加は材料の飽和磁束密度の低下をもたらす磁束密度を低下させるため、無方向性電磁鋼板には目標磁気特性に対応した量の Si, Al が添加される。一般に、より低鉄損が要求される高級品種になるほど添加量が多い。また上式より明らかなように、鉄損低減には板厚を減じることも有効である。薄厚化はまた添加元素のように磁束密度特性を劣化させることもほとんどなく、さらに高周波域特性に優れることもあって理想的な磁気特性向上策といえるが、モータコアや EI コアを積層加工する場合の工数増加をもたらすため限界がある。

3.1.2 結晶粒径

無方向性電磁鋼板の鉄損は、結晶粒径が大きいほどわず電流損が増大して履歴損は減少する⁶⁾。これは結晶粒が大きいほど、磁区幅が大きくなり異常わず電流損が増加し、一方で磁壁移動を阻害する

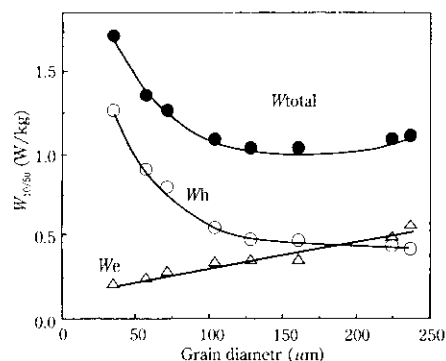


Fig. 4 Influence of grain diameter on hysteresis loss, W_h , eddy current loss, W_e and total iron loss, W_{total}

粒界の面積が減少することにより履歴損が減少するためである。したがって、両者の和である鉄損を最小とする最適結晶粒径が存在する。また履歴損は介在物の存在や集合組織などによっても影響を受けるので、それらの条件も最適化する必要がある。高 Si 鋼では Fig. 4 に示されるごとく最適粒径は 150 μm 前後と比較的大きいため、工業的には短時間の焼鈍により十分に粒成長させるための材料制御が必要となる。とくに結晶粒成長を妨げる微細析出物や、介在物を極力低減することが重要となる。

3.1.3 介在物

鋼中には硫化物、酸化物、窒化物などの析出物や介在物が存在する。介在物の直径は約 0.1 μm 以下から数 10 μm である。これらの介在物は結晶粒の成長を阻害することにより履歴損を劣化させるが、それに加えて、直接的にも磁気特性を劣化させる。これは介在物自体や、あるいは介在物が静磁エネルギーを減少させようとして生成した周辺磁区が、磁壁の移動を妨げるためである。鋼中の介在物の個数が減少すると鉄損が低下する例を Fig. 5 に示す⁷⁾。介在物の存在により磁区構造が影響を受けている例を Photo 1 に示す。したがって介在物の絶対量を減らすことがまず重要であるが、さらには介在物の大きさ、分布をできるだけ影響の少ない形態に制御することも重要となる。もし介在物の絶対量が同一であれば、できるだけこれらを粗大化させた方が粒成長および磁壁移動への悪影響は少ない。ただし大きすぎると今度は次に述べる集合組織を劣化させて鉄損を増大させるため、そのバランスが重要となる。

3.1.4 集合組織

結晶粒が特定の方向に配列した、いわゆる優先方位を持った状態を集合組織と呼ぶが、電磁鋼板の磁気特性はこれらの集合組織に強く依存する。Fig. 6 に示すように (100) 強度が増す程鉄損が減少し (112) と (111) 強度が強くなると鉄損が増加していることが分かる⁷⁾。これは電磁鋼板が強い磁気異方性を持ち、[100]結晶軸方向に最も磁化されやすく、[111]方向に最も磁化されにくいことによる。すなわち (100) 結晶面内には多数の[100]軸を有し、(111), (112) 面には[100]軸がないためである。さらに Sb を添加すると集合組織が顕著に改善されることが見いだされおり^{10,11)}、特性向上に利用されている¹²⁾。Sb を添加することにより有用な (110) 方位が増加し、好ましくない (111) 方位が抑制される (Fig. 7, 8)¹³⁾。

無方向性電磁鋼板の理想的な集合組織はその用途によって異なる。電動機用には異方性のない均一な (100) [0 vw], いわゆる面内無方向性集合組織が最適である。一方 EI コアやバラストコアなどの静止器では、磁束は主として鋼板の圧延方向とその直角方向に流れるため (100) [001] が最適となる。しかしながら現在このような集

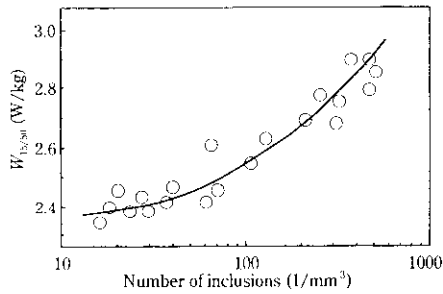


Fig. 5 Effect of inclusions on iron loss (thickness 0.5 mm)

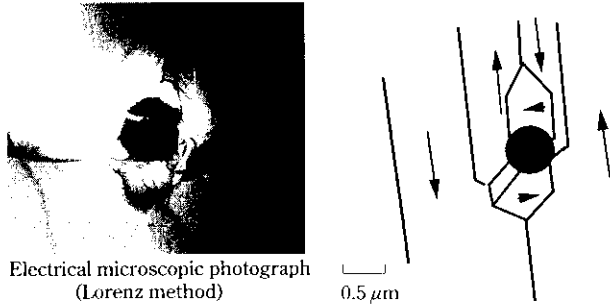


Photo 1 Magnetic domain in the vicinity of inclusion observed by Lorentz TEM method

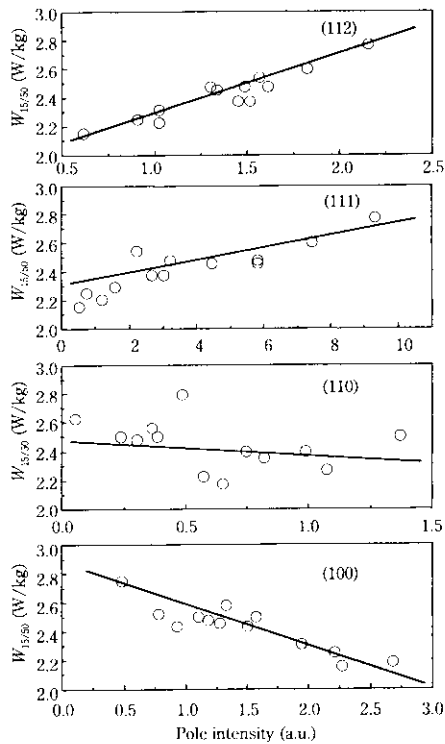


Fig. 6 Relationship between pole intensity and iron loss

合組織は非常に特殊な製造方法によってのみ達成されており、市販の電磁鋼板に採用されるには至っていない。したがって通常は磁気特性に不利な (111)、(112) 面を減少させる集合組織制御が重要である。

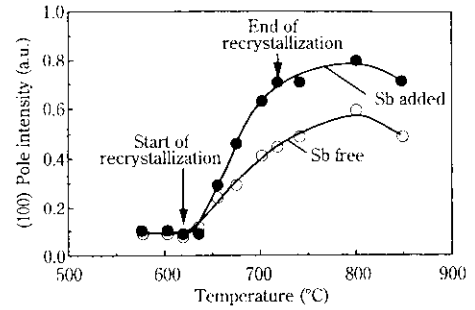


Fig. 7 Change in (110) pole intensities during recrystallization and grain growth

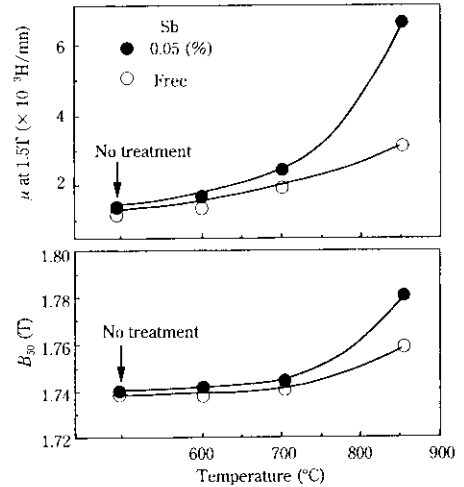


Fig. 8 Effect of Sb addition and hot band annealing on magnetic properties

3.2 製品開発

以上に述べたような原理から各工程条件を制御し、次に述べる種々の無方向性電磁鋼板製品が開発されている。

(1) 最高級無方向性電磁鋼板 50RM230 の開発^{12, 14)}

最高級鋼板の開発においては、溶鋼の高純度化が第一に重要であり、その上で圧延条件が許す範囲で比抵抗増加元素である Si, Al が添加される。1978 年には高純度鋼を素材として 50RM270 が開発され、1982 年には低 S 鋼へ REM を添加する介在物形態制御技術の適用により 50RM250 が開発された。さらなる高純度化と介在物分散制御、集合組織制御技術などの適用により現在では世界最高水準の 50RM230 ($W_{15/50} \leq 2.3$ W/kg)、および 35RM210 ($W_{15/50} \leq 2.1$ W/kg) を開発し提供している。

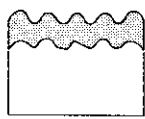
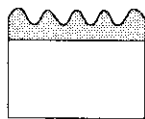
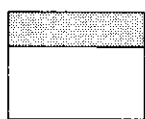
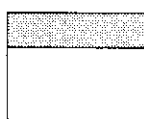
(2) 高磁束密度鋼板 RP シリーズの開発^{13, 15)}

最近の機器の小型化、高効率化の要求の高まりに応えるため、磁束密度の高い RP シリーズが開発された。Si 量の低い順に RP1, 2, 3 があり、最も磁束密度の高い RP-1H は $B_{50} > 1.79$ T を満足する。これらの鋼板は高度な集合組織制御技術により製造されている。

(3) 歪取焼鈍後低鉄損鋼板 RMA シリーズの開発^{16, 17)}

磁束密度を確保しながら、お客様における歪取焼鈍後に効果的に低鉄損化する鋼板として、焼鈍時の粒成長性がとくに優れた鋼板が開発されている。粒成長性の改善は介在物形態制御に

Table 1 Characteristics of insulating coatings for RM-core

Coating	A1	A2	A3	D	B
Composition	Inorganic with some organic			Inorganic	Organic
Cross section					
Feature	General use	Dull surface	Dull coating	Phosphate coating	Adhesion coating
Lamination factor	◎	△	△	◎	△
Interlaminar resistance	◎	◎	◎	◎	◎
Punchability	◎	◎	◎	△	◎
Weldability	△	◎	◎	◎	△
Heat resistance	◎	◎	◎	◎	×

◎ Excellent ○ Good △ Not good × Poor

よって得られる。RMA600 ($W_{15/50} \leq 6.0 \text{ W/kg}$) から RMA350 ($W_{15/50} \leq 3.5 \text{ W/kg}$) まで種々の製品が開発されている。

3.3 コーティングの進歩

電磁鋼板は、各種の形状に打抜きあるいは剪断加工したのち積層して使用されるので、その表面に施されるコーティングに対しては加工法や用途に応じてさまざまな特性が要求される。Table 1 に川崎製鉄の RM 鋼板の各種コーティングの特徴を示す。汎用コートである半有機の A1 コートは総合特性に優れており、現在最も多量にかつ一般的に使用されている。鋼板表面あるいはコーティング自体に凹凸を形成するようにした A2, A3 コートは溶接性を改善したものである。無機の D コートはとくに耐熱性、溶接性に優れる³⁾。

かしめ、溶接などの接合方法が適用できない用途、あるいは鋼板間の気密性を要求される用途には加熱接着が可能な有機接着樹脂の B コートが開発製品化されている。

このように、川崎製鉄では各種の特徴を有するコーティングを開発し、またお客様での最適な選択に役立つよう、各種コーティングの諸特性データを蓄積・整備している。

3.4 機械的性質の適正化¹⁶⁾

無方向性電磁鋼板は打ち抜き加工性、打ち抜き精度の確保、かしめ強度の確保など、お客様の加工方法に対応した機械的特性が要求される。それぞれの加工方法に対応した硬度、鋼板組織の最適化、そして加工の自動化に対応できるよう、機械的性質の均一性を重視した品質の作り込みを行っている。

3.5 板厚精度の向上

無方向性電磁鋼板では全長、全幅にわたってとくに厳しい板厚精度が要求される。長手方向の板厚精度向上は冷間圧延機への全スタンド板厚張り制御システムの開発¹⁸⁾により、加減速非定常域でも $\pm 2.5 \mu\text{m}$ の精度に達している。また幅方向の板厚精度向上は世界に先駆けて川崎製鉄が開発した片テーパ付ワークロールシフト圧延方法¹⁸⁾の適用により大幅に改善されている。

3.6 品質保証

製造された鋼板の品質を全長にわたって保証するためにオンラインでの連続鉄損測定装置、表面欠陥検出装置を設置し、全長、全幅の品質保証に対して万全を期している。1994 年 6 月には ISO9001 の認定を取得した。

3.7 実機特性評価方法の研究

無方向性電磁鋼板の特性評価にあたっては、その製品を用いた実機の実機特性を評価することによって、JIS2550 により規定されているエプスタイン試験よりも多くの情報を得ることができ、この情報を製品開発にフィードバックすることが重要となる。

川崎製鉄では、600 W 単相モータ¹⁹⁾ および 400 W 3 相 6 極インバータモータ評価装置²⁰⁾を開発し知見を得たので紹介する。

Fig. 9¹⁹⁾ は、単相モータの鉄損、銅損およびトータル損失に及ぼす素材の Si + Al 量の影響を示す。このモータではステータのヨーク磁束密度は 1.33 T、ティース部は 1.50 T である。このような設計の場合、素材 Si + Al 量が増すほど電流損が減少するためモータ鉄損は減少するが、透磁率が減少するためモータ銅損が増加し、その結果、トータル損を最低にする最適 Si + Al 量が存在する。しかもこの最適 Si + Al 量は、設計磁束密度が高くなるほど減少するため、モータ小型化時には、低 Si + Al 材が有利となる可能性がある。

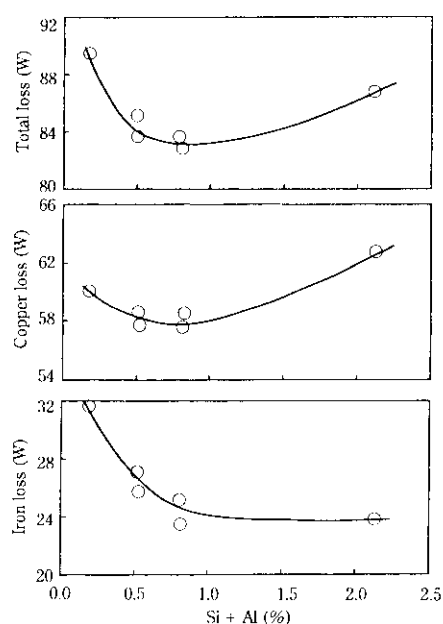


Fig. 9 Effects of Si + Al contents of core material on iron loss, copper loss and total loss of single phase induction motor

本号の論文に、400 W インバータモータの効率に及ぼす素材の Si 量、板厚、PWM 周波数および歪取焼鈍の有無の影響について調査した結果を記載する³⁹⁾。

4 結 言

川崎製鉄は広幅冷延電磁鋼板を製品化して以来、35 年にわたり磁気特性の改善と多様なニーズに応える製品を開発してきた。とくに低鉄損化、高磁束密度化は常に要望される点であるため、たゆまぬ改善努力を続けてきた。また良好な加工性などを得るために、機械的性質の適正な制御、鋼板寸法精度の確保のみならず、各種の特性を有するコーティングも開発、改善してきた。さらには、それら

の特性を検証するために数多くの評価方法の開発も行ってきた。近年では、最高級無方向性電磁鋼板 RM230、高磁束密度無方向性電磁鋼板 RP-1、歪取焼鈍後低鉄損無方向性電磁鋼板 RMA350 といった製品や、汎用コーティング A1 コート、接着積層用コーティング B コートといった高機能性コーティングなど特徴ある新製品を開発している。

今後、電磁鋼板の用途はさらに多様化し、発電機など大型機器のみならず、家電製品に使用される小型電動機器・小型静止器においても、省エネルギーの観点からより高い効率が求められるようになってくると考えられる。お客様の御要望に応じた製品を開発するための努力を今後とも続けていく決意である。

参 考 文 献

- 1) 川崎製鉄(株)：特公昭 48-12300
- 2) 入江敏夫、丹田俊邦、中野昭三郎：川崎製鉄技報，**3**(1971)3, 337
- 3) 丹田俊邦、市 智之、森戸延行、入江敏夫、嶋中 浩：鉄と鋼，**66**(1980)7, 1010
- 4) 入江敏夫、松村 治、中村広登、莊野保之：川崎製鉄技報，**10**(1978)1, 15
- 5) H. Shimanaka, Y. Ito, K. Matsumura, and B. Fukuda: *J. Magn. Magn. Mat.*, **26**(1982)5, 57
- 6) K. Matsumura and B. Fukuda: *IEEE Trans. Mag.*, **MAG-20**(1984)5, 1533
- 7) 松村 治、福田文二郎、木下勝雄、今井卓雄、小畑良夫、宮崎重紀：川崎製鉄技報，**15**(1983)3, 208
- 8) Kawasaki Steel Corp.: U. S. Patent 4 204 890
- 9) Kawasaki Steel Corp.: U. S. Patent 4 293 336
- 10) 入江敏夫、松村 治、莊野保之、中村広登、嶋中 浩：鉄と鋼，**64**(1978)11, S765
- 11) 入江敏夫、松村 治、中村広登、莊野保之、伊藤 庸、嶋中 浩：鉄と鋼，**65**(1979)11, 1056
- 12) 小松原道郎、中村広登、松村 治：*CAMP-ISIJ*, **2**(1989)6, 1935
- 13) M. Takashima, T. Obara, and T. Kan: *JMEPEG*, **2**(1993), 249
- 14) 河野正樹、岡村 進、寺嶋 正：川崎製鉄技報，**29**(1997)3,
- 15) 尾崎芳宏、小林義紀：川崎製鉄技報，**29**(1997)3,
- 16) 寺嶋 正、荻原邦夫：プレス技術，**31**(1994)5, 52
- 17) 高島 檢、小野智睦、西村恵次：川崎製鉄技報，**29**(1997)3,
- 18) 小野智睦、本島成人、蛭田敏樹：「冷間タンデムミルにおける難圧延材の高精度板厚制御システムの開発」、圧延理論部会第 100 回記念シンポジウム、圧延技術・圧延理論の発展と将来への潮流、日本鉄鋼協会 (1994), 103
- 19) A. Honda, B. Fukuda, I. Ohyama, and Y. Mine: *J. Mater. Eng.*, **12**(1990), 41
- 20) 本田厚人、佐藤圭司、大山 勇：「インバータ駆動モーターの特性に及ぼす素材の影響」、電気学会マグネティックス研究会，**MAG-94-68**(1994)