

# 極低 S 系, 高効率モータ用電磁鋼板「NKB Core」

Ultra-low-sulfur Non-oriented Electrical Steel Sheets for High Efficient Motor “NKB Core”

尾田 善彦	総合材料技術研究所 薄板研究部 主任研究員	Yoshihiko Oda
田中 靖	技術企画部 グループマネージャー 工博	Yasushi Tanaka
山上 伸夫	福山製鉄所 薄板商品技術部 グループマネージャー	Nobuo Yamagami
千野 淳	基盤技術研究所 物性解析研究部 主査 工博	Atsushi Chino
山田 克美	基盤技術研究所 物性解析研究部 主任研究員	Katsumi Yamada

極低 S 技術と表層窒化抑制技術の組み合わせにより鉄損を低減し、さらに Si, Al 低減により高磁束密度と高打ち抜き性を併せて達成した高効率モータ用電磁鋼板 (NKB Core) を開発した。本稿では NKB Core の材料設計思想について詳述し、電動パワーステアリングモータへの適用例について述べる。

*A new type of non-oriented electrical steel sheet was developed by ultra low sulfur technology. In this material, the low core loss was obtained by a reduction of the sulfur content in the steel and a suppression of surface nitriding. And the high magnetic flux density was obtained by a reduction of Si and Al contents. This steel shows; (1) low hysteresis loss, (2) high magnetic flux density, (3) excellent punching properties and (4) low production cost. This paper describes the materials design of NKB Core, and presents the application of this*

G 0552 に準拠して切断法にて求めた。Fig.1 より従来の S=30 ~ 50ppm 材に比べ S を 4ppm とすることにより粒成長性が著しく向上することがわかる。これは S を低減することにより、粒成長性を妨げる MnS が少なくなったためである。

がわかる。

以上のことから 極低 S 材と高 S 材ではヒステリシス損の仕上焼鈍温度依存性が大きく異なっており、このことが極低 S 材の鉄損が高温焼鈍時に増加している主因であると言える。

Fig.1 Relationship between S content and ferrite grain size after final annealing

Fig.2 に周波数 50Hz での全鉄損を示す。仕上焼鈍温度 900 以下の領域では S=32ppm および S=54ppm の高 S 材および S=4ppm の極低 S 材ともに焼鈍温度の上昇に伴い鉄損は低下する。しかし、鉄損の絶対値を比較すると極低 S 材の鉄損は高 S 材に比べ大幅に低くなっている。一方、仕上焼鈍温度が 900 以上では高 S 材の鉄損は仕上焼鈍温度の増大に伴い低下するが、極低 S 材の鉄損は逆に増大しており、仕上焼鈍温度 1050 では高 S 材に比べ鉄損が高くなっている。

極低 S 材における高温焼鈍時のヒステリシス損増大の原因を調査するため、光学顕微鏡にて断面組織を観察した結果を Photo 1 に示す。極低 S 材の板厚中央部のフェライト粒は高 S 材に比べ 1.5 倍程度となっている。しかし、極低 S 材の鋼板表層部には細粒組織が認められた。そこで、この細粒部分に相当する鋼板表面から 10 $\mu$ m の位置の SEM 観察を行ったところ、Photo 2 に示すように 0.1 ~ 0.5  $\mu$ m 程度の微細な AlN が認められた。このことから、極低 S 材における表層細粒組織は鋼板表層部が窒化したことにより、粒界がピン止めされたためと考えられる。

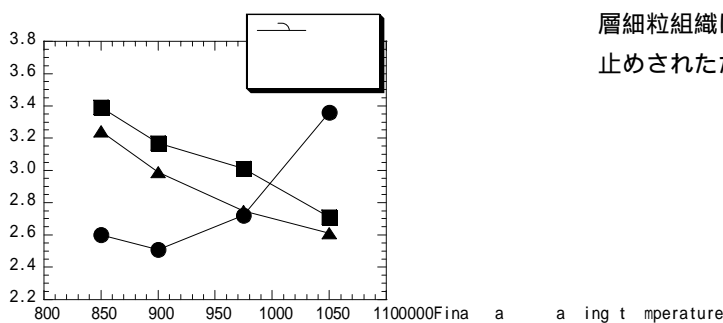


Fig.2 Effect of S on total core loss

この原因を調査するため、2 周波法にて鉄損分離を行った結果を Fig.3 に示す。渦電流損は高 S 材、極低 S 材ともに仕上焼鈍温度の増大とともに増加している。これは、仕上焼鈍温度の増大に伴い結晶粒径が大きくなり、それに伴って磁区幅が広くなることにより渦電流損が増加したためと理解できる。また、渦電流損は極低 S 材の方が高い値を示しているがこれも極低 S 材の結晶粒が高 S 材に比べ粗大化していることから磁区幅が広くなったためと考えることができる。

一方、ヒステリシス損は、高 S 材では仕上焼鈍温度の増大に伴い単調に低下する。これに対し、極低 S 材では 900 までは仕上焼鈍温度の増大に伴いヒステリシス損が低下するものの、900 以上では逆にヒステリシス損が増加すること

この表層の AlN 量を定量的に調査するため鋼板表面より 30 μm ピッチで電解抽出を行い, N as AlN 量を測定した結果を Fig.4 および Fig.5 に示す。Fig.4

Fig.8 に板厚 0.35mm の従来材, 高純度材 ( 極低 S 材 ) および極低 S 化+表層窒化抑制を行った開発鋼の渦電流損とヒステリシス損を示す。これより, 極低 S 化と表層窒化抑制の組み合わせによりヒステリシス損が大幅に低下し, それによ

Fig.8 ~~0.35mm~~ 0.35mm

#### 4. 電動パワーステアリングモータへの適用例

本開発鋼の適用例として、近年、自動車の燃費向上の観点から急速に普及している電動パワーステアリング (EPS) 用モータが挙げられる。EPS は油圧パワーステアリングに比べ 3~5%程度燃費が向上するとされている。これは、従来の油圧パワーステアリングではハンドル回転時以外にも油圧ポンプを駆動しているため、高速での直進時などではエネルギーを無駄に消費しているのに対し、EPS ではハンドル