

中性子回折による電磁鋼板の集合組織観察

(株)豊田中央研究所 野崎 洋

1. 背景と目的

ハイブリッド車(hybrid vehicle; HV)のモータに利用される軟磁性材料(電磁鋼板)の磁化容易軸は[100]方向であり、理想的には結晶粒の{100}面が電磁鋼板の表面に平行であることが望ましい[1]。そのためモータの低損失化のためには、電磁鋼板のひずみと結晶粒配向との制御が重要課題である。ひずみと結晶粒配向とを評価する手法として X 線回折(X-ray diffraction; XRD)が一般的だが、X 線は鉄が主元素である電磁鋼板に対する透過性が低く、試料表面の情報しか得られない。そこで本研究では、中性子を用いた配向状態の評価を実施した。

2. 実験

測定試料 中性子回折測定用の試料には、幅 10mm×長さ70mm に加工した無配向性電磁鋼板を、全体の厚さが 2mm になるように複数枚重ねて用いた。電磁鋼板の圧延率は 0% (未圧延試料)、25%、50%を用いた。焼鈍試料は、850℃で 30 分間熱処理した。以降では、圧延後、焼鈍前の試料を焼鈍前、焼鈍後の試料を焼鈍後と呼ぶ。

中性子回折測定 iMATERIA (BL20)において中性子回折パターンを測定した。ビームサイズは 20 mm × 20 mm である。測定した中性子回折パターンから、コンピュータプログラム;MAUD[2-4]を用いて極点図を得た。なお、透過した中性子を計測するので、得られる情報は試料厚さ方向の平均である。

3. 結果と考察

中性子による集合組織観察で得られた極点図を図 1 に示す。圧延していない試料(0%)では、試料表面の法線方向に{111}面(図中の 222)と{100}面(図中の 400)とが配向していることがわかる。また、焼鈍前後で集合組織に大きな変化は見られず、したがって配向状態は変化しなかったことがわかる。

一方、圧延試料では、焼鈍前は圧延していない試料と同様に{111}面と{100}面とが強く配向していることがわかる。焼鈍後は{111}面の配向が残るものの、強い配向は消失し、試料の配向が弱くなることがわかった。また、圧延していない試料では焼鈍前と焼鈍後とで配向はほとんど変化していないが、圧延試料では焼鈍で配向が弱くなっていることがわかる。圧延試料ではひずみが生じているため、結晶粒が成長するとともに、配向状態が大きく変化したと考えられる。さらに、圧延率 25%と 50%の試料を比較すると、焼鈍前・焼鈍後ともに、試料間で配向状態の違いは見られなかった。

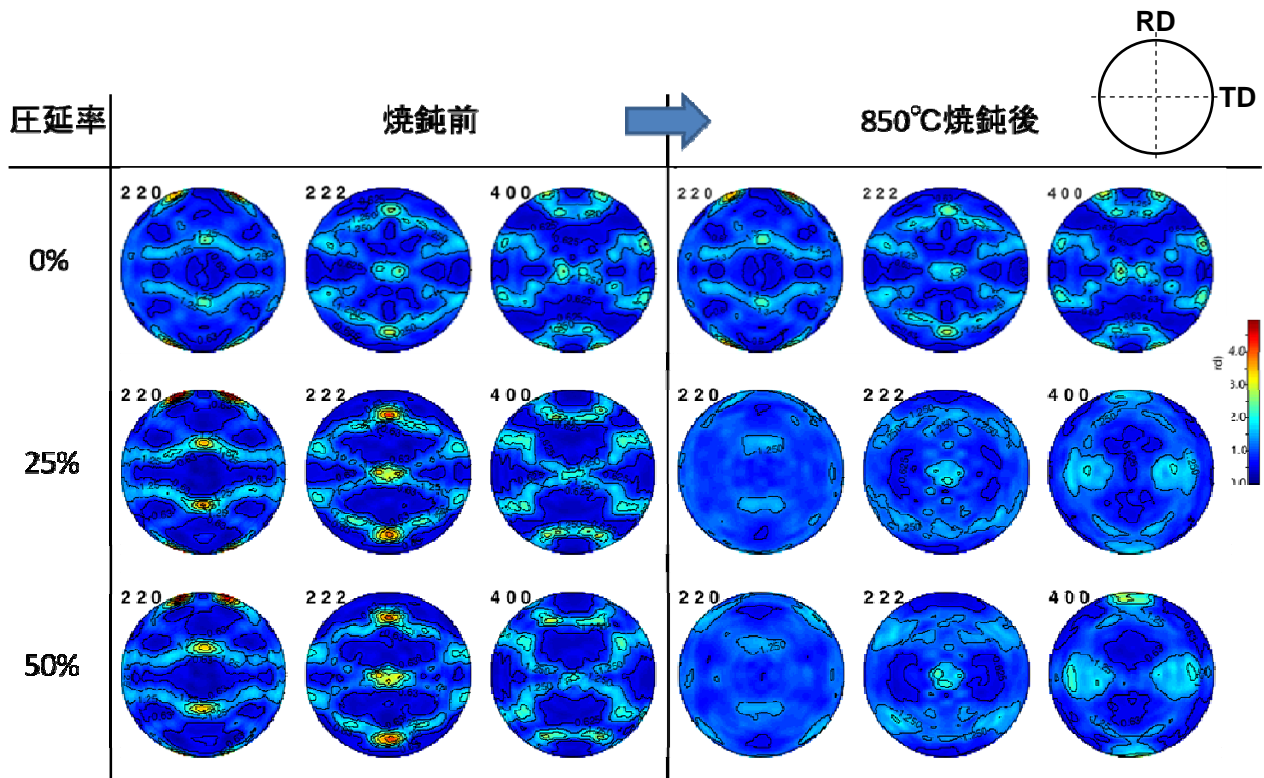


図1 圧延率0%、25%、50%試料の極点図。RDとTDはそれぞれ、圧延方向(rolling direction)とRDに垂直な方向(transverse direction)を表す。また図中の3桁の数字はミラー指数を表す。

4. 結論

中性子回折により電磁鋼板の集合組織観察を実施した。その結果、圧延後(焼鈍前)は{111}面と{100}面との配向が強くなることが示された。焼鈍後は、圧延していない試料では配向状態がほとんど変化しないが、圧延試料では配向が弱くなることが明らかになった。また、今回測定した試料の圧延範囲(25%~50%)では、焼鈍前と焼鈍後ともに配向状態の圧延率依存性はないことがわかった。

【参考文献】

- [1] Doi, S., Aoki, T., Okazaki, K., Takahashi, Y., and Fujiwara, K., "Improvement of Convergence Characteristics of 1-D Dynamic Magnetic Field Analysis with Hysteresis for Iron Loss Estimation", IEEE Transactions on Magnetics, Vol. 52, (2016), 2000504.
- [2] Lutterotti, L., Matthies, S., Wenk, H. -R., Schultz, A. J., and Richardson, J., "Texture and structure analysis of deformed limestone from neutron diffraction spectra", J. Appl. Phys., Vol. 81 (2), (1997), pp. 594-600.
- [3] Lutterotti, L., "Total pattern fitting for the combined size-strain-stress-texture determination in thin film diffraction", Nuclear Inst. and Methods in Physics Research, B, Vol. 268, (2010), pp. 334-340.
- [4] MAUD: Materials analysis Using Diffraction, version 2.91, 2019, <http://maud.radiographema.eu/VQLTP/> (2019年8月19日参照).