

# Fe-Si 鋼板における高温圧縮加工のその場集合組織観察

(株) デンソー 高橋拓暉

## 1. Introduction

地球温暖化の進行を背景に自動車の CO<sub>2</sub> 排出規制が急速に進行しており、BEV(Battery Electric Vehicle)や HEV(Hybrid Electric Vehicle), FCEV(Fuel Cell Electric Vehicle)といった電動車へのシフトが世界的に進んでいる。これらの電動車は内燃機関の代替として MG (Motor Generator) で駆動することから、MG はその特性が走行性能や電費に直結する電動化のコア製品と言え、高出力化や高効率化が要求されている。MG の高出力化や高効率化のためにはステータコアに使用される電磁鋼板の高磁束密度化、低鉄損化が効果的であり、これらの改善には鉄の磁気異方性を利用した集合組織制御が有効であることから、過去より様々な関連技術開発がおこなわれてきた[1]。電磁鋼板は熱間圧延や冷間圧延、熱処理など数多くのプロセスを経て製造されるため、各工程での集合組織変化や導入されるひずみの把握は重要な研究課題であるが、特に熱間圧延においてはひずみの導入と入熱が同時に行われることから集合組織が時々刻々と変化し、プロセス中の集合組織変化を捉えることは困難である。従来は試料の急冷による組織凍結などが行われてきたが、急冷法は昇温過程、冷却過程の組織変化や再研磨の影響が無視できない課題があり、高温加工プロセスにおける非破壊の集合組織測定法が求められている。本研究では、電磁鋼板の高温加工プロセス中の集合組織観察を目的として、中性子回折を用いた In-situ 測定を試みる。

## 2. Experiment

中性子回折測定用の試料には、Φ 10 mm に加工した t0.5 mm の無配向性電磁鋼板を 30 枚積層し、全体の厚さを 15 mm とした。試料は Si 量が 1.6% と 2.9% である 2 種類の電磁鋼板を用いた。実験は、900°C まで 1.5°C/s で昇温した後に温度安定のために 10 min 保持した後にひずみ速度  $10^{-3} \text{ s}^{-1}$ 、 $10^{-4} \text{ s}^{-1}$  で 50% の圧縮加工を行った。加工完了後は 4 min 温度を保持した後、-1°C/s で冷却を行った。本実験では昇温、圧縮加工、冷却の一連の過程において iMATERIA (BL20) で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 であり、実験当日のビーム強度は 882.8 kW だった。測定した中性子回折パターンから、リートベルト解析用のソフトウェアである MAUD[2-3]を用いて極点図を取得した。

## 3. Results

図 1 に、中性子回折によって得られた極点図を示す。ここで加工前は昇温、保持後の加工開始前の試料を示し、加工後は 50% 圧縮加工直後の試料である。1.6%Si 鋼は加工前に試料の法線方向に{111}面(図中の 222)に強く配向していることが確認できる。加工後はひずみ速度  $10^{-3} \text{ s}^{-1}$  および  $10^{-4} \text{ s}^{-1}$  のいずれにおいても{111}面強度がやや減少し、{100}面(図中の 200)が増加しており、ひずみ速度による差はみられなかった。2.9%Si 鋼は加工前に{100}面と{222}面にやや配向しているものの、1.6%Si 鋼と比較すると全体的に配向の弱い試料であることが確認できる。加工後は{200}面への配向と{222}面の減少が確認できるが、本試料においてはひずみ速度の遅い  $10^{-4} \text{ s}^{-1}$  の方がより顕著な変化が見られ、また 1.6%Si 鋼板と比較しても加工前後の{200}配向が強くなった。

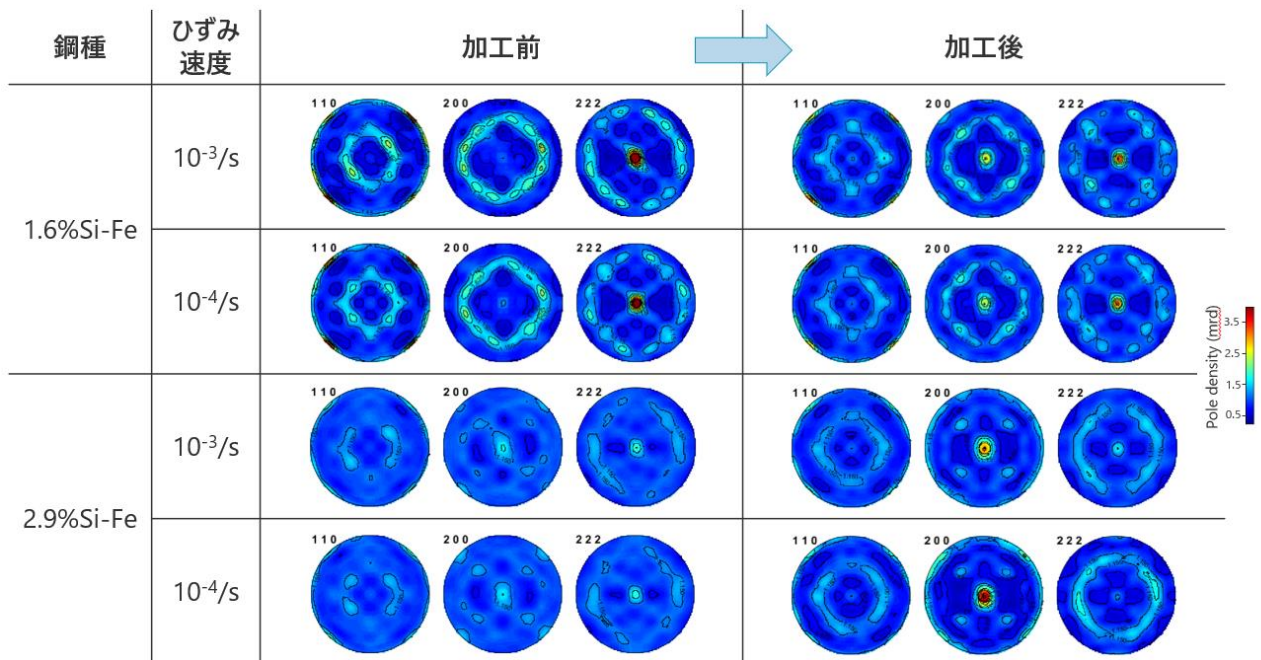


図1 900°Cでの圧縮加工前後におけるND方向の極点図

#### 4. Conclusion

iMATERIA を利用し、中性子回折で電磁鋼板の高温圧縮その場集合組織観察を実施した。その結果、10<sup>-3</sup> s<sup>-1</sup> 以下の低ひずみ速度かつ 900°Cの高温圧縮加工では{100}面が増加し、{111}面が減少することを確認した。また各方位の増加、減少は Si 量やひずみ速度で変化することが明らかとなった。以上の結果は従来困難とされてきた高温圧縮加工中の集合組織変化を非破壊で測定して得られたものであり、本手法の有効性が分かった。今後は加工途中の解析を進めていくことでプロセスと集合組織変化のより詳細な原理を明確にしていく。

#### 参考文献

- [1] Y.Hayakawa, "Recent Developments in Non-Oriented Electrical Steels", Tetsu-to-Hagané, 106(2020), pp. 683-696 (in Japanese). <https://doi.org/10.2355/tetsutohagane.TETSU-2020-005>.
- [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.