

ショットピーニングを活用した金属表面結晶方位制御技術の構築

名古屋工業大学 大学院工学研究科 工学専攻 教授
佐藤 尚

1. テーマ設定の背景

金属材料の結晶方位分布は、材料強度や磁性など材料特性に影響を及ぼすため、その制御が求められている。従来、金属材料表面の結晶方位を制御するためには、熔融凝固あるいは加工熱処理が用いられてきた。一方、筆者らは、近年、表層巨大ひずみ加工の一つであるショットピーニング (SP) により、金属材料表面の結晶方位分布を制御することが可能であることを発見した¹⁾。本技術は、従来技術に比べて簡便に表面結晶方位分布を制御できる特徴を持つ。このようなSPによる表面結晶方位分布の制御技術は、電極用グラフェンの成長基板材料、無方向性電磁鋼板およびコンデンサ材料など結晶方位分布が重要となる製品への展開が可能となる^{1), 2)}。本研究では、SPによる金属表面結晶方位分布を自在に制御できる技術の構築を目指し、その指導原理の発見を目標としている。

2. 素形材分野との関連性

SPは、バリ取り、表面テクスチャの形成および素形材の疲労特性や耐腐食性向上などを目的とした技術として、従来から素形材分野で広く用いられてきた。本研究は、このようなSPを“素形材の結晶方位分布を制御する技術”として活用するものである。結晶方位分布を制御することができれば、材料の磁気特性の改善やエピタキシャル成長用基板材料の性能向上を期待できる。それゆえ、本研究で構築されるSPの技術は、疲労特性や表面硬さの向上と同時に、材料表面に磁気特性のような $+a$ の機能を持った素形材の創出を期待できる。

3. 研究開発の成果

筆者らは、これまで純Cu圧延板および純Fe圧延板へのSPで形成する集合組織について明らかにしてきた。さらに、筆者らは、その現象に基づいて、SPと熱処理による高周波用無方向性電磁鋼板の創出に取り組んでいる。本項では、それらの研究について紹介する。

3.1 SPを施した純Cu圧延板の加工表面における集合組織¹⁾

図1は、投射圧力0.6 MPaおよび投射時間40 minでSPを施した純Cu圧延板の加工表面における結晶方位分布を示す逆極点図 (IPF) マップと極点図を示す。なお、SPで用いた投射材は、直径210 μm ~ 300 μm のジルコン (ZrSiO_4) 粒子である。図1から、純Cu圧延板にSPを施すと、Cuの $\{110\}$ 面が加工表面に平行となった $\{110\}$ 繊維集合組織が形成することを見出した。これは、SPによる変形において単軸圧縮が支配的な変形様式であり、かつ単軸圧縮変形のもとで $\{110\}$ 面のTaylor因子が最も大きくなるためである。さ

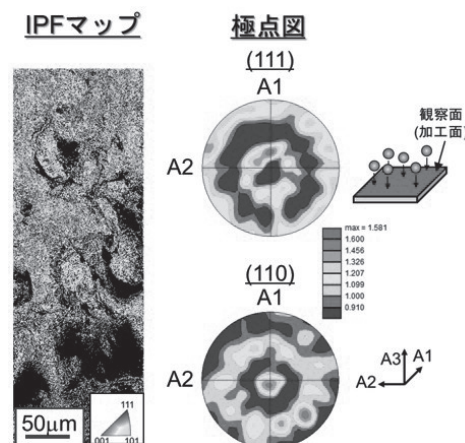


図1 投射圧力0.6 MPaおよび投射時間40 minでSPを施した純Cu圧延板の加工表面における結晶方位分布を示すIPFマップと極点図。

らに、SPを施した純Cu多結晶の表面にグラフェンを成長させた結果、従来技術のCu単結晶の上に成長させたグラフェンと同等のグラフェンを得ることに成功した。よって、SPを施した純Cu圧延板はグラフェン成長基板として利用可能と結論づけた。

3.2 SPおよび熱処理を施した純Fe圧延板の加工表面における集合組織と無方向性電磁鋼板への展開²⁾

本研究では、純Fe圧延板にSPを施すことで、加工表面に形成する集合組織を調査した。その結果、SPを施した純Fe圧延板の加工表面には、Feの{001}面および{111}面が加工表面に平行になった{001}+{111}二重繊維集合組織が形成していることが分かった。本研究では、その試料に対して熱処理を施すことで形成する集合組織についても調査した。図2は、投射圧力0.6 MPaおよび投射時間10 minでSPを施した後に550℃で1 hの熱処理を施した純Fe圧延板の加工表面における結晶方位分布を示すIPFマップと極点図である。SPと熱処理によって、Feの{001}面が加工表面に平行になった{001}繊維集合組織が形成することが分かった。この{001}繊維集合組織は、交流モーターの鉄心材料である無方向性電磁鋼板と同じ集合組織である。そこで、SPと熱処理を施した純Fe圧延板に対して鉄心材料に必要な磁

気特性である鉄損を評価した結果、SPと熱処理を施した純Fe圧延板の鉄損は、焼鈍のみを施した純Fe圧延板の鉄損に比べて小さかった。すなわち、純Fe圧延板へのSPと熱処理は、新たな無方向性電磁鋼板の製造技術として期待できる。

4. 訴求点

本研究は、SPを施した金属材料の加工表面に繊維集合組織が形成することを見出した。この繊維集合組織はSPによる単軸圧縮変形によって形成する。また、この繊維集合組織において配向する結晶面方位は、その材料の単軸圧縮変形においてTaylor因子が最も高くなる結晶面方位であることが分かった。すなわち、この知見を念頭に金属材料にSPを施せば、加工表面における結晶面方位を自在に制御することが期待できる。これは、SPを「金属材料の結晶方位制御技術」として新たな活用分野に展開できる。しかし、SPを結晶方位制御技術として活用するためには、「①投射材の投射方向と変形様式の関係」、「②投射材形状と変形様式の関係」および「③投射速度と加工表面に形成する集合組織との関係」を明らかにしなければならない。これは、未だ分かっていない「SPの学理」の構築に資するであろう。近年、電磁鋼板の他、電極材料やコンデンサ材料など電気電子部品を中心に、材料の結晶方位制御が重要になってきた。本技術を構築できれば、SPをこれらの活用分野に展開でき、SPの需要増加につながるであろう。この技術を確立するため、SPによる金属表面結晶方位制御技術の指導原理構築を目指して研究を推進する。

参考文献

- 1) H. Sato, Y. Ito, G. Kalita, Y. Watanabe: Phys. Status Solidi b, **259** (2022) 2100550 (10 pages).
- 2) 佐藤尚: 熱処理, **65** (2025) 20-26.

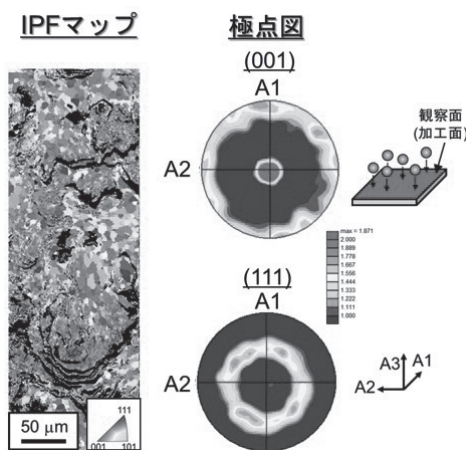


図2 投射圧力0.6 MPaおよび投射時間10 minでSPを施した後、550℃で1 hの熱処理をした純Fe圧延板の加工表面におけるIPFマップと極点図。