

研究部会紹介

## 加工と熱処理による優先方位制御研究部会

### Introduction of the sectional meeting on preferred orientations control through plastic deformation and heat treatment

井上 博史\*

Hirofumi INOUE\*

#### 1. 研究部会の活動目的と発足経緯

金属材料の高性能化には組成や組織の制御以外に結晶方位の制御も必要である。近年、自動車や電子・電気機器等への軽金属材料の使用が増加しているが、今後はリサイクルを念頭に置いた研究が不可欠であり、合金元素添加による組成制御に頼ることなく、微細組織と結晶方位を最適化するための材料プロセスがますます重要となる。展伸材の製造工程では、塑性加工のみならず、焼なましや溶体化処理による再結晶が優先方位形成に強く影響を及ぼすため、両者を考慮した集合組織制御技術の確立が望まれる。本研究部会では、加工と熱処理による新しい集合組織制御技術の構築を目指して、微視レベルから巨視レベルまでの様々なスケールでの集合組織解析、変形および再結晶集合組織の形成機構の解明、集合組織と材料特性の関係の抽出と集合組織による材料特性の定量的予測など、種々の観点から幅広い研究活動を行っている。研究活動の方向性として、異方性軽減のための無配向化よりも、実現可能な優先方位の組合せによる材料特性の向上に重点を置いている。

本研究部会は平成19年4月から平成23年3月まで活動した「集合組織研究部会」の後続研究部会として平成24年4月に設置された。前身の「集合組織研究部会」では、集合組織の基礎に関する講習会の開催、集合組織の測定・表示法の標準化を目的とした集合組織測定結果の比較、集合組織に関する文献データの収集など、初学者や若手研究者のための勉強会的な活動が含まれていた。活動成果の詳細は軽金属学会の研究部会報告書<sup>1)</sup>をご覧ください。5年間の活動で集合組織の基礎について部会メンバーの理解が十分深まったので、集合組織の応用を一層推し進めるために、集合組織制御技術の確立を最終目標として、「集合組織研究部会」終了後すぐに本研究部会が発足した。

#### 2. 委員の構成

本研究部会は前身の「集合組織研究部会」から引続き参加している委員が多く、さらに新メンバーも加わったため、現在活動中の研究部会の中で委員数が最も多い部会となっている(平成26年3月現在27名)。軽金属の集合組織関連分野に対する関心の大きさがうかがわれ、研究部会発起人として喜ばしい限りである。部会委員の構成を表1に示す。現在20の

所属機関から27名の委員が参加している。その内訳は、集合組織関連の研究を行っている大学や高専の方が10名、公的機関の研究者が2名、企業側では金属材料メーカー5社、集合組織測定装置メーカー3社、測定・分析メーカー1社から計15名となっている。他の研究部会とは異なり、測定装置に関係する企業や公的機関が含まれている点の特徴的である。部会長、副部会長、幹事は学界から選出したが、研究部会の資金が企業からの会費であることを考慮して会計幹事は企業の方をお願いした。

#### 3. 活動内容

平成24年4月から平成28年3月までの4年間に実施する活動内容は以下の5つの項目からなる。それぞれの項目について目的と活動状況を説明する。

##### 3.1 優先方位評価の厳密化

(i) 異周速圧延のようなせん断変形が加わる塑性加工では、極点図がTD軸に関して非対称となるため、それに対応した集合組織解析が必要である。(ii) マグネシウムやチタンなどの最密六方晶金属の優先方位はこれまで底面すなわちc軸の配向のみ着目されてきたが、緻密な集合組織制御を行うには集合組織形成機構の解明が必要であり、柱面すなわちa軸の配向も議論しなければならない。これらの課題を解決するために、優先方位の厳密な評価を実施する。

1050アルミニウムの圧延板(H材)とその焼なまし板(O材)について、透過電子顕微鏡(菊池線を用いた方位解析, 担当: (株)コベルコ科研), EBSD (electron back-scatter diffraction, 担当: (株)TSLソリューションズ, オックスフォード・インストゥルメンツ(株)), X線回折(極点図測定, 担当: (株)リガク), 中性子回折(極点図測定, 担当: 日本原子力研究開発機構)による結晶方位測定を行った。測定結果の単純な比較ではなく、それぞれの長所を活かした利用法を検討したい。最密六方晶金属の集合組織については、今後部会内の勉強会を通して活動を行う予定である。

##### 3.2 特性改善に有効な優先方位の予測

アルミニウムの深絞り性、耳率、曲げ加工性、降伏強度に及ぼす結晶方位の影響を実験、計算機シミュレーション、文献等により調査し、これらの特性改善に有効な優先方位の組合せを定量的に予測する。上記の材料特性についてこれまで研究を行ってきた企業の研究者や大学の先生が主体となって

\*大阪府立大学大学院工学研究科マテリアル工学分野(〒599-8531 大阪府堺市中区学園町1-1)。Department of Materials Science, Graduate School of Engineering, Osaka Prefecture University (1-1 Gakuen-cho, Naka-ku, Sakai-shi, Osaka 599-8531). E-mail: inoue@mtr.osakafu-u.ac.jp  
受付日:平成26年4月3日

表1 加工と熱処理による優先方位制御研究部会の構成委員 (2014年3月現在)

氏名	所属	備考
井上 博史	大阪府立大学	部会長 副部会長
福富 洋志	横浜国立大学	
岡安 和人	横浜国立大学	幹事
高山 善匡	宇都宮大学	
柴柳 敏哉	富山大学	
関 史江	元東京大学	
檜原 恵蔵	和歌山工業高等専門学校	
行武 栄太郎	茨城県工業技術センター	
徐 平光	日本原子力研究開発機構	
池田 賢一	九州大学	
鈴木 徹也	茨城大学工学部	
上森 武	近畿大学工学部	
田中 宏樹	(株)UACJ	会計幹事
中西 英貴	(株)UACJ	
日比野 旭	(株)UACJ	
竹田 博貴	(株)UACJ	
伊原 健太郎	(株)神戸製鋼所	
白井 孝太	日本軽金属(株)	
半田 岳士	日本軽金属(株)	
中西 茂紀	三菱アルミニウム(株)	
金子 洋	古河電気工業(株)	
上エ地義徳	(株)リガク	
横山 亮一	(株)リガク	
鈴木 清一	(株)TSLソリューションズ	
森田 博文	オックスフォード・ インストゥルメンツ(株)	
与田 利花	(株)コベルコ科研	
諸永 拓	(株)コベルコ科研	

活動を行っている。現時点では過去の研究成果に基づいて特性改善に有効な優先方位はある程度わかっている。実現可能な優先方位をどのように組合せるかが今後の課題である。著者もこれまで結晶方位分布関数 (ODF) を用いて $r$ 値<sup>2),3)</sup> および曲げ加工性<sup>4)</sup> の予測を行っており、活動期間内に解析ソフトウェアを誰でも入手可能な形にしたいと思っている。

ここまですべてが部会共通テーマとして部会全体で実施する研究活動である。以下に述べる実施項目は、グループリーダーを中心として活動する、部会委員の個別研究を主体としたグループ活動テーマであり、3つのグループに分かれて本格的な活動を開始したばかりであるので、活動状況報告は省略する。

### 3.3 冷間および熱間加工による集合組織変化

(リーダー：福富副部会長)

板圧延や板押出のような平面ひずみ変形、伸線や丸棒押出のような軸対称変形に代表されるように、塑性加工時のひずみの状態に依存して変形集合組織は顕著に変化する<sup>5)</sup>。しかし、ひずみの状態が決まれば、発達する集合組織をある程度予測できる。代表的な変形集合組織の計算機シミュレーションが可能となれば、ひずみ状態を変化させるだけで新しい加工プロセスにより形成する変形集合組織の予測もおおむね可

能となる。したがって、材料組織学的なアプローチに留まらずに計算機シミュレーションも積極的に取り入れていきたい。塑性変形時の集合組織変化をその場測定できれば、計算機シミュレーションの妥当性を検証することができる。この目的を達成するには中性子回折による集合組織のその場非破壊測定が有効な手段となる。また、熱間加工では動的および静的な回復・再結晶が生じ、集合組織の形成挙動はより複雑になるため、高温変形時の集合組織の調査も非常に重要である。冷間・熱間にかかわらず加工率や初期集合組織の影響も重要な研究課題である。

### 3.4 再結晶集合組織に及ぼす加工・熱処理条件の影響

(リーダー：井上部会長)

対象を圧延板に設定し、(i) ロール径、圧下率、圧延方向、ロール周速などの圧延条件が再結晶集合組織に及ぼす影響を調査すること、(ii) 温度、時間、昇温速度などの熱処理条件が再結晶集合組織に及ぼす影響を調査すること、(iii) 再結晶集合組織形成の支配因子を抽出することを目的として、各機関が個別研究テーマとして実験を中心とした研究活動を行う。このグループ活動が目標とするのは、種々の因子が集合組織形成に影響を及ぼすため、一筋縄では行かない再結晶集合組織の計算機シミュレーションを可能にするための基礎的なデータベースづくりである。そこから合金系、圧延条件、熱処理条件に応じて再結晶集合組織を大別し、それぞれの場合に対応して再結晶集合組織形成の支配因子を抽出し、Oriented nucleation説・Selective growth説あるいは低エネルギーブロック説・高エネルギーブロック説のいずれに近い再結晶挙動であるのかを見極める。このような分類ができれば、3.3節 (または3.5節) のテーマで予測した変形集合組織に基づいて、それぞれの分類に応じて再結晶集合組織を定量的に精度よく予測できるようになると考えている。再結晶集合組織の定量的予測は集合組織制御による材料特性改善に不可欠な解析技術であり、材料組織学・結晶学・結晶塑性論に関する知識の融合が必要である。

### 3.5 新プロセスによる集合組織形成と材料特性

(リーダー：高山幹事)

このグループの活動目的は、(i) 様々な加工プロセスで形成される変形集合組織を予測するための基盤的シミュレーション技術を確立すること、(ii) 異周速圧延、接合圧延、繰返し曲げ加工などの従来とは異なるプロセスによる集合組織形成を調査すること、(iii) 新プロセスにより得られる材料特性の評価および予測を行うことである。

(i) は、上記3.3節で述べたように、ひずみ状態が変化してもシミュレーションが可能な計算機プログラムの開発を目指している。(ii) では実際に加工を施し、集合組織を測定することが中心となるが、文献調査も随時行っていく。これにより特殊な加工による変形集合組織形成について理解を深める。加工後の熱処理 (焼なまし) による集合組織変化の調査も実施したい。(iii) は新プロセスによる集合組織制御の可能性を見極める研究課題であり、上記3.2節の成果の活用を期待したい。

## 4. その他の活動

本研究部会は日本金属学会分科会「結晶と組織の配向制御による材料高性能化研究会」と共催で公開講演会を毎年開

催している。平成24年度は10月11日、12日に倉敷市で、平成25年度は10月7日、8日に伊勢市で、公募による講演会を行った。一般講演は毎回17件程度あり、聴講を含めた参加者数は約2倍の35名程度である。平成26年度も10月9日、10日に軽井沢町で開催予定であり、詳細は学会ホームページまたは軽金属誌会告をご覧ください。

## 5. 将来的展望

変形集合組織予測に始まり再結晶集合組織予測を経て最終的に材料特性予測に終わる一貫した定量的解析技術を構築することが理想的である。圧延集合組織の計算機シミュレーションは数十年前に欧米を中心に盛んに行われ、予測結果は実測結果と極点図のパターンが定性的に類似することがすでに報告されている。圧延板の再結晶集合組織のシミュレ-

ションも以前から行われているが、再結晶挙動が加工や熱処理条件に依存して多様に変化するため、満足のいく結果が得られていないのが現状である。厳密かつ定量的な方位解析に基づいて集合組織とそれに関連する材料特性を予測することが、集合組織制御を目的とした新プロセスの効率的な開発につながると考えている。本研究部会活動に関心のある方はこれからでも参加可能ですので、ご連絡いただければ幸いです。

## 参 考 文 献

- 1) 研究部会報告書No.56「集合組織の制御とその形成機構」, 編集 軽金属学会研究委員会集合組織研究部会, 軽金属学会, (2011).
- 2) 井上博史, 稲数直次: 軽金属, **44** (1994), 97-103.
- 3) 井上博史: 塑性と加工, **54** (2013), 116-121.
- 4) 井上博史: 軽金属学会第122回春期大会講演概要, (2012), 191-192.
- 5) 井上博史: 軽金属, **52** (2002), 524-529.