

## 研究部会紹介

## 冷間／熱間加工工程における組織形成予測部会

### The sectional meeting on microstructure development prediction in cold/hot forming processes

吉田 佳典\*  
Yoshinori YOSHIDA\*

#### 1. はじめに

近年、アルミニウム合金における組織形成予測の重要性は高まっており、世界的にもマイクロ組織予測や結晶方位発展予測にとどまらず、降伏強度や伸び、疲労強度などの機械的特性予測を含めた材料組織形成シミュレーション技術開発が急速に進展している。このような背景から、平成23年度～平成26年度に「アルミニウム合金圧延材の組織形成予測部会（部会長：京都大学 松原英一郎教授）」<sup>1)</sup>（以下、前部会）が開設され、アルミニウム合金の冷間圧延加工の組織予測を中心に、同志社大学 仲町英治教授が開発された結晶塑性有限要素解析コードを改良して用い、各企業委員に実施していただいた引張試験などの種々の材料試験結果を用い、4種のアルミニウム合金鑄塊サンプル作製ならびに圧延実験と集合組織解析を行い、これを解析結果と比較検討することによって一定の成果を上げた。しかしながら残された課題には、冷間加工数値解析手法のさらなる高度化と、熱間加工中に生じる再結晶および結晶粒成長を支配する組織形成要因をつかむことなどが挙げられる。

これを踏まえ本部会では、前部会で得られた成果および課題を引き継ぎ、冷間圧延における組織形成予測技術の発展およびバージョンアップならびに熱間変形中に生じる動的析出挙動に着目した熱間組織形成予測技術とデータベース構築を目指す。すなわち加工中の動的組織変化および最終組織の機械的特性に影響を及ぼす一要因に挙げられる、高温変形過程における第二相粒子などの動的析出挙動についてのデータベース（DB）構築および動的観察技術の可能性を模索する。

#### 2. 研究課題

以下に本研究部会の活動項目を示す。これらを平成27年度から平成30年度の4年間で達成することを目標とする。

- ①冷間圧延における複雑な変形経路が集合組織に及ぼす影響を解析的に検討する。
- ②冷間圧延における集合組織予測におけるパラメータ測定方法の標準化とこれを用いた新規材料のパラメータを取得する。
- ③基本製造条件下での組織形成予測と実験結果との比較によるモデルの検証を行う。
- ④高温域における第二相粒子の動的析出挙動に着目し、これ

に温度、ひずみおよびひずみ速度が及ぼす影響を検討しDB化する。なお、製造現場に即した課題も抽出し、製造プロセスへの適用性を考慮する。

#### 3. 部会委員構成

平成29年度9月時点（本稿執筆時）での部会構成委員を表1に示す。本部会の特徴として、アルミニウム板圧延における表面欠陥研究部会からオブザーバとして参画いただいております。また、平成28年度から新設された学生委員制度を初めて利用し、横浜国立大学から五島委員（大学院博士課程前期2年）が参加している。

#### 4. 部会活動

本研究部会の研究活動の概要を以下に示す。

##### 4.1 初年度（平成27年度）

初年度は以下の4回の研究部会を開催した。

- ・第1回（平成27年6月30日、日本アルミニウム協会）
- ・第2回（平成27年8月25日、日本アルミニウム協会）
- ・第3回（平成27年12月2日、(株)UACJ 中部支社）

表1 冷間／熱間加工工程における組織形成予測部会構成委員（平成29年9月現在）

氏名	所属	備考
池田 賢一	北海道大学	
廣澤 渉一	横浜国立大学	
山中 晃徳	東京農工大学	
吉田 佳典	岐阜大学	部会長
五島 康二	横浜国立大学	学生委員
小西 晴之	(株)神戸製鋼所	
阪本 達志	昭和電気(株)	
下坂 大輔	日本軽金属(株)	
田中 宏樹	(株)UACJ	幹事
成田 渉	(株)UACJ	
福増 秀彰	三菱アルミニウム(株)	
近藤 崇	昭和電気(株)	オブザーバ
村尾 伸介	(株)神戸製鋼所	オブザーバ

\* 岐阜大学工学部機械工学科 次世代金型技術研究センター（〒501-1193 岐阜県岐阜市柳戸1-1） Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Center for Advanced Die and Engineering Technology, Gifu University (1-1 Yanagi-do, Gifu-shi, Gifu 501-1193)  
受付日：平成29年10月3日

- ・第4回（平成28年3月14日，東京農工大学 小金井キャンパス）

初年度においては，主に企業側委員から意見を聴取し，冷間圧延組織予測システム構築の方向性の策定，参加企業のニーズ調査，熱間析出挙動研究の方向性の策定を進めた。

その結果，冷間圧延組織予測システムについては前部会で得られたシミュレーションコードを利用し，多パス解析に対応させるべくさらに汎用性を高めるための更新が必要であり，これについては岐阜大学が担当することとなった。

熱間加工組織予測については，第一ステップとして加工中の析出有無に及ぼすひずみ速度および温度の影響を調査することとした。対象とする系の検討においては，Al-1%Mn合金とし，地金ベースが高純度99.99%でこれに1%Mnを加えた合金（以下，4N-1%Mn）および1050レベルに1%Mnを加えた合金（以下，1050-1%Mn）の2種とした。これらを熱間平面ひずみ圧縮試験に供し，圧縮および冷却後の試験片に対して示差走査熱量測定（DSC）を施し，これによって下部組織の熱的安定性を調査することとした。当初，実験条件は，加工温度範囲は300～500°C，ひずみ速度は0.1～10s<sup>-1</sup>および熱処理温度は400および500°C（均熱後に水冷）と設定した。

#### 4.2 2年目（平成28年度）

平成28年度は以下の3回の研究部会を実施した。

- ・第5回（平成28年6月23日，岐阜大学 次世代金型技術研究センター）
- ・第6回（平成28年9月27日，横浜国立大学 常盤台キャンパス）
- ・第7回（平成28年12月13日，日本アルミニウム協会）

今年度は，初年度の実験結果をもとにさらに検討を重ね，熱間加工中の析出について加工履歴と析出挙動の関係をマッピングしたDBの作成および組織形成予測式の構築に結びつけるための課題検討を視野に入れて活動した。

熱間動的析出挙動の検討については，1050-1%Mnおよび4N-1%Mnについて，熱間平面ひずみ圧縮試験を行い，均熱および水冷による熱処理後の組織変化について調査した。初期組織，加工組織および熱処理後組織の観察結果から，再結晶および結晶粒成長挙動の有無を調査した。これらの最終組織の形態を加工組織（ファイバー），再結晶組織および粒成長組織の3種類に分類し，圧縮温度-ひずみ速度マトリックスにマッピングした。また，これを熱処理後の組織についても同様に行った。その結果，1050-1%Mn材では，熱処理前，熱処理後（400および500°C）サンプルのほとんどの条件で加工組織が維持されていた。唯一，加工温度300°C，ひずみ速度10s<sup>-1</sup>，熱処理温度500°Cの条件でわずかに結晶粒成長が確認された。一方，4N-1%Mn材では熱処理前後ともに，加工温度が高温（450°C以上）の場合に再結晶組織となり，熱処理による変化はほぼ見られなかった。

また両熱間加工材についてX線回折法（XRD）による第二相測定を行い，前者においては化合物のピークが確認され，後者については特定ピークが確認されなかった。これを受けて，より高輝度な測定を目的として，あいちシンクロトロン光センター（愛知県，長久手）において分析を行い，対象材（1050-1%Mnおよび4N-1%Mn）の熱間平面ひずみ圧縮前後の試験片における金属間化合物の同定を検討することとなった。

#### 4.3 3年目（平成29年度）

平成29年度は以下の2回の研究部会を実施した。

- ・第8回（平成29年4月19日，(株)神戸製鋼所 東京本社）
- ・第9回（平成29年8月28日，岐阜大学 サテライトキャンパス）

冷間圧延組織予測システムについては，冷間圧延中における結晶方位発展を簡易に計算する手法が新たに提案された。要素サイズを実際の結晶粒サイズに近づけ，材料座標と結晶方位の関係ならびに応力状態から各要素の流動応力を見積もり，これによって変形解析を行うものであり，比較的短時間で計算が可能となる。今後，解析手法の妥当性の検討を進める。

熱間動的析出挙動の検討については，あいちシンクロトロン光センターでの分析結果から，1050-1%Mn合金および4N-1%Mn合金における熱間圧縮時の析出物の特定を行った。前者においてはAl-Mn-Si系化合物が確認され，合金の熱的安定性の要因であるものと考えられる。また後者においてはAl-Si系化合物は検出されず，Al-Fe-Mn系化合物と考えられる微小なピークが確認され，すなわち熱間加工中の動的析出がほとんど生じず熱的安定性が付与されないことがわかった。また部会内でも同様の析出物同定を行い，前述の分析結果を検証した。

#### 4.4 テーマ別検討状況

本研究部会では，大学側委員によって個別テーマをもって検討を進めている。

北海道大学の池田賢一委員は，熱処理による組織変化に及ぼす冷間および熱間圧延条件の影響について検討を進めている。熱間圧延温度が高いほど動的析出が促進され，また動的回復されやすくなる現象などが確認されている。今後は熱間圧延材の晶出物，析出物の構造解析や分布状態および熱的安定性の調査を進める。

横浜国立大学の廣澤渉一委員および五島康二委員は，アルミニウム合金熱間加工中における応力-ひずみ曲線補正方法の検討を進めている。熱間圧縮試験と有限要素法を用いた逆解析手法との組み合わせによる熱間流動応力同定を行い，これを熱間圧延解析に適用した。今後，圧縮試験時に生じる摩擦の影響の補正などの課題に取り組む。

東京農工大学の山中晃徳委員には，大変形を伴う金属材料中に生じる析出挙動の計算という極めて難しい問題を解決するための課題を抽出し，解析技術向上への指針をご検討いただいている。

### 5. 今後の展望

平成29年度において，熱間動的析出挙動の検討については熱間平面ひずみ圧縮後および熱処理後の材料内部における析出物同定について，さらに回数を増やしてその確度をあげる。また析出物の粒度や分布をはじめとする分散状況の定量化を進め，当初の目的を達成すべく活動を行う。さらに動的析出挙動のその場観察手法の検討にも着手する。大学側検討の成果も踏まえ，材料流動，機械的特性ならびに集合組織を予測可能な解析環境の実現の方向性を検討したい。

#### 参考文献

- 1) 吉田佳典，松原英一郎：アルミニウム合金圧延材の組織形成予測部会活動報告，軽金属，64（2014），80-81。