

# 摩擦攪拌インクリメンタルフォーミングの加工メカニズムの解明と表面改質への応用

デジタルものづくり課 酒井康祐\*1 氷見清和 機能素材加工課 佐藤 智\*2

## 1. 緒言

薄板金属の成形において、高速回転させたツールと薄板間の摩擦熱により逐次加工を行う摩擦攪拌インクリメンタルフォーミング(FSIF)は、室温で成形性が乏しいアルミニウムで優れた成形限界が得られるダイレス塑性加工技術として注目されている。加工時の現象として板表面で攪拌が起きていることは明らかにされているが、成形性向上の詳細なメカニズムは明らかになっていない。また、FSIFは加工部の板厚が減少する加工方法であるため、パネルなどの製品として使用するには機械的特性の向上が求められ、改質が必要である。金属材料の改質法である摩擦攪拌プロセッシング(FSP)を応用し、機械的特性を向上させるため、微粉末を用いたFSPを行い、攪拌部に微粉末を分散させる技術が開発されている。そこで、本研究ではFSIFの加工メカニズムの解明と、FSIFとFSPが回転ツールを移動させる点が共通していることに着目し、加工と改質の同時プロセス化に取り組んだ。

## 2. 実験方法

### 2.1 使用材料

供試材はA5052を用いた。寸法は100×100×1 mmである。また、改質用粉末として粒径1 μmのSiCを用いた。

### 2.2 試験および測定方法

加工メカニズムについて調査するため、A5052板の周囲を治具で固定し、摩擦攪拌接合機に先端が直径6 mmの半球状のツールを取り付けて四角錐台形に張り出し加工を行った。四角錐台形の形状は底面を40×40 mm、高さを10 mmとして、傾斜角(張り出し方向と側面がなす角)は10°とした。加工条件はツール回転数2000 rpm、送り速度100 mm/minとした。正方形を描くようにツールを移動させた後、Z方向に0.5 mm送る動作を繰り返して成形した。加工した板側面の断面をイオンリングによって前処理した後、EBSDにより解析を行った。

粉末による改質を確認するため、A5052薄板に幅2 mm、深さ0~0.5 mmの溝を作製しSiC粉末を充填させ溝に沿ってFSPを1パス行った。ツールの挿入深さは0.5 mmで一定とした。改質後は、断面観察及び硬さ試験を行った。加工中、SiC粉末が飛散する可能性があるため、粉末充填後に溝をアルミホイルで覆って加工したものと比較した。

さらに、改質と同時に成形を行うため、SiC粉末をA5052上に散布して四角錐台形に加工を行った。

## 3. 実験結果および考察

Fig. 1にEBSD解析によって得られた母材と加工部の粒径分布を示す。母材の結晶粒径はおよそ11 μmの組織であったが、加工部は結晶粒径が1 μm程度まで微細化されていた。ツールによる攪拌によって結晶粒が微細化されたと考えられる。10°の傾斜角は475%相当の伸びであるが、結晶粒微細化により粒界すべりが促進され、超塑性が発現したものと示唆される。

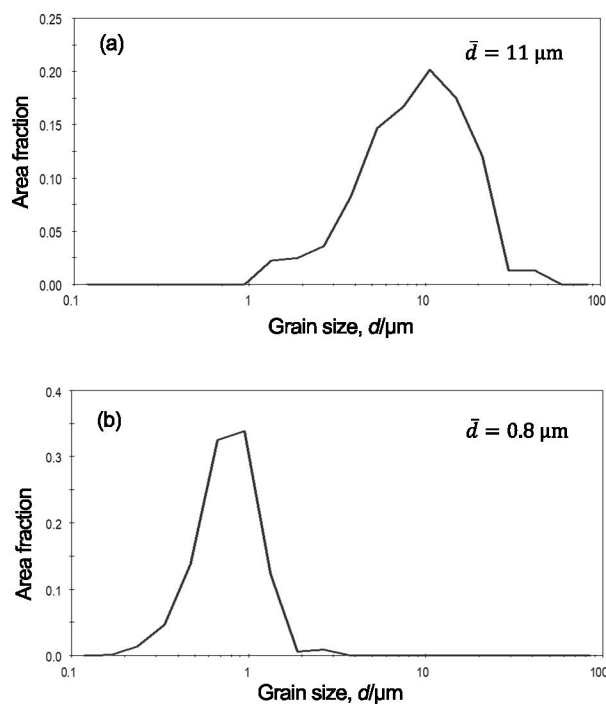


Fig. 1 Grain size (a) BM, (b) formed A5052

A5052に溝を加工しSiC粉末を充填させFSPを行った実験では、Fig. 2に示すように粉末はツールが通った箇所周辺に様に分布せず、板表面に近い溝側面やツール先

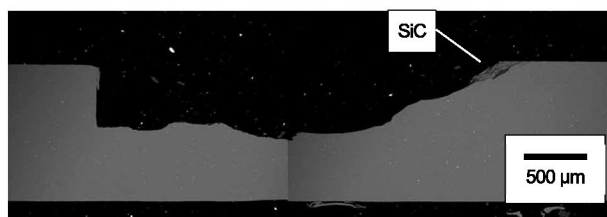


Fig. 2 Cross section of the A5052 treated by FSP with SiC powder

\*1 現 機能素材加工課、\*2 現 商工企画課

端直下などツールと板の接触が多い箇所に偏在する結果となった。これは行った FSP が 1 パスであり、ツールの形状が半球状であるため十分に板の内部まで粉末が入り込まなかったためと考えられる。また、アルミホイルの有無による差は見られなかった。

Fig. 3 に FSP を施した攪拌部のビッカース硬さの結果を示す。試験を行った位置は溝側面の板表面近傍の攪拌部とした。溝深さが深くなると SiC がはっきりと確認される領域が現れる傾向があり、硬さが上昇した。Al 中に SiC が入り込んだ領域では改質されたことが確認された。

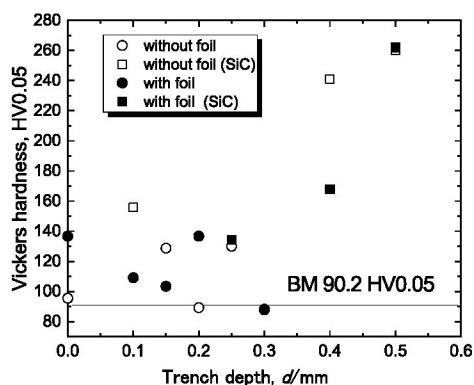


Fig. 3 Relationship between Vickers hardness and trench depth

Fig. 4 に SiC 粉末を用いて四角錐台形に加工した A5052 の板表面近傍の断面を示す。元素マッピングの結果、Si は板表面に分布しており加工部は Al 中に SiC 粉末が分散したと考えられる。板表面の Si の分布が一様であるのは、Z 方向の位置を変えながら繰り返しツールを移動させて成形するため、ツールの位置を少しずつずらしながら数パス分の加工がされたためと考えられる。

#### 4. 結言

A5052 に対して先端が半球状のツールを用いた摩擦攪拌インクリメンタルフォーミングによって成形を行った。

キーワード：摩擦攪拌インクリメンタルフォーミング、摩擦攪拌プロセッシング、超塑性

### Investigation of Forming Mechanism and Application to Surface Modification about Friction Stir Incremental Forming

Digital Manufacturing Section; Kosuke SAKAI, Kiyokazu HIMI  
Functional Material Processing Section; Masaru SATO\*2

In this study, A5052 sheet was formed into a square frustum by friction stir incremental forming (FSIF) and the grain size in the stir zone changed to 1  $\mu\text{m}$ . This result suggested the miniaturization of grain size may accelerate superplasticity. A5052 sheet was formed by FSIF with SiC powder. SiC powder was dispersed in the stir zone and stir zone was modified.

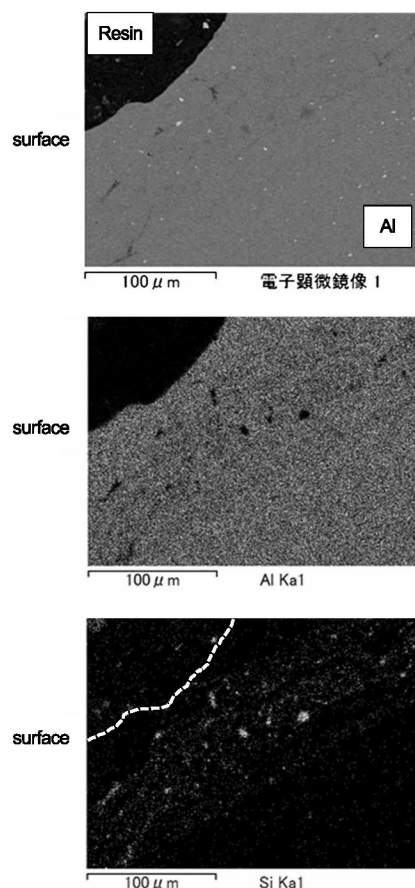


Fig. 4 BSE image and element mapping of cross section of the formed A5052 with SiC power

傾斜角 10°に成形したものは加工部の粒径が 10  $\mu\text{m}$  から 1  $\mu\text{m}$  まで微細化され、粒界すべりが発生し成形性が向上したことが示唆された。また SiC 粉末を用いて加工することで板表面に粉末を分散させられることが確認された。

#### 参考文献

- 1) 大津ら:塑性と加工, **52** (2011) pp. 490-494
- 2) 大津ら:塑性と加工, **52** (2011) pp. 710-714