

# 塑性加工と表面改質の同時プロセスを実現する 摩擦攪拌インクリメンタルフォーミング法の開発

機能素材加工課 酒井康祐、川堰宣隆\*<sup>1</sup> 商工労働部 佐藤 智

デジタルものづくり課 山本貴文、氷見清和\*<sup>2</sup>

## 1. 緒言

摩擦攪拌インクリメンタルフォーミング(FSIF)は薄板の周囲を治具で固定し、棒状のツールを高速回転させて板に押し付けながら目的の形状を得るダイレス塑性加工技術であり、プレス加工に比べ伸びの大きな成形が可能である。FSIF では、成形時に板表面での材料の攪拌が確認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 は加工部の板厚の減少により機械的特性が低下するため、特性を向上させるには改質が必要である。金属材料の表面改質に摩擦攪拌プロセス(FSP)及び粉末を用いた FSP があるが、これは材料中に回転するツールを挿入し攪拌することで結晶粒を微細化し強度を高める技術でありツールの動きは FSIF と共通している。そこで本研究では FSIF のメカニズムの解明及び加工ツール先端から粉末を供給しながら加工と改質を同時に行う技術の開発を行った。

## 2. 実験方法

### 2.1 使用材料

供試材は板厚 1 mm の A5052、改質用粉末に粒径 1  $\mu\text{m}$  の SiC を用いた。加工ツールはマルエージング鋼を用いて 3D プリンタによって作製した。形状は先端が直径 6 mm の半球状であり、周囲に直径 2 mm の粉末供給用の穴を 4 か所設けた。

### 2.2 試験および測定方法

メカニズムの解明については FSIF では粒界すべりが起きていると考えられる。その現象を間接的に確認するために、あらかじめツールで攪拌した A5052 の表面を鏡面研磨した試験片を作製し、恒温槽を用いて 300°C の熱間引張試験を行った。

加工と改質の同時化では摩擦攪拌接合装置に備え付けられたミーリングチャックをオイルホールホルダへ取り換えることで外部から粉体を圧縮空気とともに送り込む機構を作製した。これにより SiC 粉末をツールから供給しながら A5052 を高さ 7 mm、傾斜角(板側面とツールのなす角) 30°の四角錐台形に成形した。成形を評価するため、成形時に板裏面の温度を熱画像測定カメラにより測定し、成形した試料の断面に対し走査型電子顕微鏡による分析とビッカース硬さ試験を行い、通常の FSIF 及び SiC を板に乗せた状態で FSIF を行ったものと比較した。

## 3. 実験結果および考察

熱間引張試験を行った結果、伸びは 67%であった。これは成形時の傾斜角に換算すると 36.9°に相当する。試験片は表面に凹凸が見られた。結晶粒が回転して生じた可能性があり、粒界すべりの発生が考えられる。

ツール先端から粉末を供給しながら成形した加工部断面を走査型電子顕微鏡により元素マッピングした結果、攪拌部に SiC が観察されたが偏在する分布であった。加工時の温度は通常の FSIF と比べ成形時の最高温度が 100°C 以上低下していたことから、ツールから粉末を供給した際、空気とともに送ったため、成形時の温度が上がらず、攪拌が抑制されたためと考えられる。一方、硬さ試験では加工部表面近傍の硬さは増加しており、改質したことが確認された(Fig. 1)。

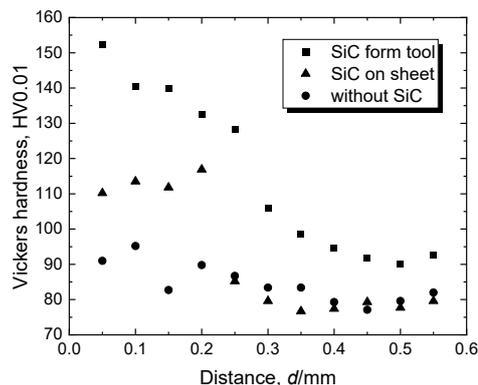


Fig. 1 Vickers hardness and distance from surface

## 4. 結言

FSIF のメカニズム解明のため熱間引張試験を行い粒界すべりに起因すると考えられる現象が見られた。また、ツール先端から粉末を供給することによって改質と同時に塑性加工を行うことができた。

## 参考文献

- 1) 大津ら: 塑性と加工, **52** (2011) pp. 710-714
- 2) 木元ら: 粉体および粉末冶金, **62** (2015) pp. 258-262

## 謝辞

本研究は公益信託鮎久晴富山県内大学等研究助成基金の助成を受けたものである。記して謝意を表す。

\*<sup>1</sup> 現 デジタルものづくり課、\*<sup>2</sup> 現 商工労働部