

摩擦攪拌インクリメンタルフォーミングにおける合金化に関する研究

機能素材加工課 酒井康祐、山岸英樹、村上 聡

1. 緒言

薄板金属の成形において、摩擦攪拌インクリメンタルフォーミング(FSIF)が開発されている。FSIF は板の周囲を治具で固定してツールを高速回転させて逐次押し付けながら板との間に生じる摩擦熱を利用して目標の形状を得るダイレス加工であるが、板厚が減少するため機械的特性が低下するため強化が必要である。一方で、金属の表面改質の1つに摩擦攪拌プロセス(FSP)がある。FSP も FSIF と同様に回転するツールを金属に押し当てる点が類似しているため、FSIF において FSP による強化を行うことが期待できる。さらに FSP には改質用粉末を用いて行うことで基材を複合化や合金化により強化する方法がある。しかし改質時にツールによって粉末が押しつけられるため粉末の固定化が困難という課題がある。そこで本研究では、改質用金属粉末を溶射によって固定化した薄板金属に対し FSIF を行うことで粉末を板内部に分散させ合金化による強化を試みた。

2. 実験方法

2.1 使用材料

成形に用いる材料は 100×100×1 mm の A5052 であり、改質用金属として Ti 及び Zn をそれぞれ溶射した板を用いた。溶射の膜厚は Ti が約 50 μm 、Zn が約 100 μm である。

2.2 試験および測定方法

成形可能範囲を調査するため、溶射を行っていない A5052(100×100×1 mm)に対して、ツール回転数 2500～10000 rpm、送り速度 250～1000 mm/min の条件で成形を行った。成形形状は底面が 40×40 mm、高さが 7 mm、傾斜角が 30°の四角錐台形であり、先端が直径 6 mm の半球状の SKD61 製のツールを用いて正方形を描く動きを 1 工程とし、1 工程ごとに Z 方向に 0.5 mm 送る動作を繰り返して成形した。続いて、改質条件を検討するため、Ti 及び Zn を溶射した A5052 に対し、成形条件と同じ条件で板表面から 0.5 mm ツールを挿入し、1 パスのみ FSP にて改質を行った。成形可能かつ改質が行われた条件にて溶射された A5052 に対し FSIF により成形を行った。

改質を行った試料は断面を切り出し、SEM による観察、EDS 分析及びビッカース硬さ試験により機械的性質の評

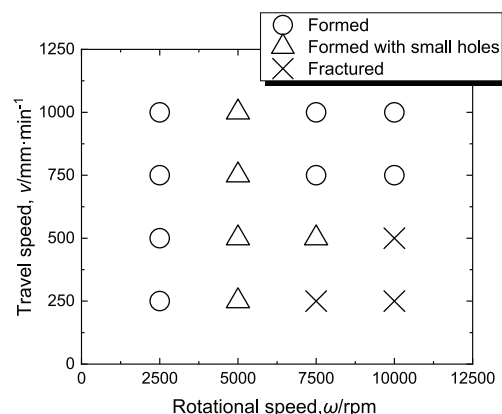


Fig. 1 Relationship between rotational speed and travel speed

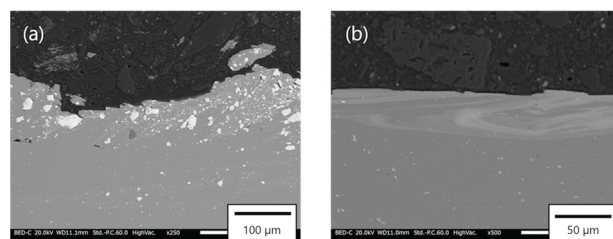


Fig. 2 BSE image of cross section of FSPed A5052

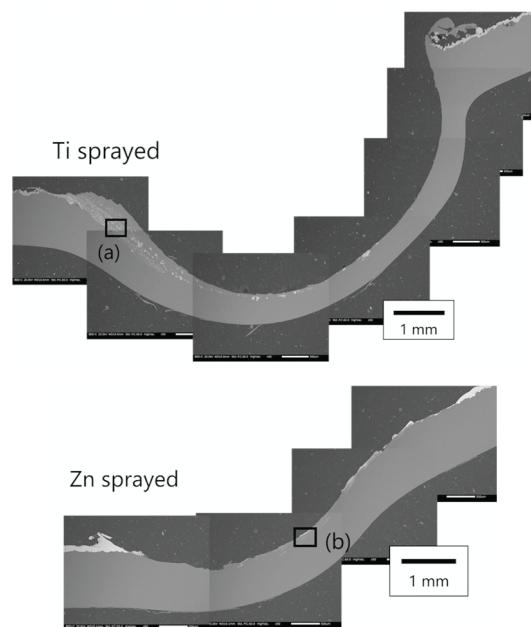


Fig. 3 BSE image of cross section of formed A5052

価を行った。

3. 実験結果および考察

Fig. 1 にツール回転数と送り速度による成形の可否を示す。高回転数かつ低送り速度の条件で破断する結果と

なった。Ti 及び Zn を溶射した A5052 に FSP を行った断面を Fig. 2 に示す。Ti を溶射したものについては Ti が粒状になって A5052 に混ざり込んだ様子が確認された。Zn を溶射したものについては Zn が攪拌部に層状に混ざり込んでいる様子が確認された。Ti は硬いため、溶射されたものが粒子状になるだけであったが、Zn は軟らかいため、A5052 内に攪拌されて入り込んだためと考えられる。これらは高回転数かつ低送り速度の条件で顕著に見られたが、入熱が大きいためと考えられる。

成形の可否と溶射金属の混ざり具合の結果から、溶射された板の成形条件は Ti と Zn とともに回転数 10000 rpm、送り速度 750 mm/min とした。Ti 及び Zn を溶射した板を成形した断面を Fig. 3 に示す。成形形状については、Ti と Zn のもので形状が異なるが、溶射の際に生じる板の変形が Ti と Zn で異なったためと考えられる。改質金属については、Ti は粒状で部分的に分散しており、Zn は場所によって差があるが成形部分全体で見られ、成形せずに FSP したものと同様の改質となった。改質金属が多く見られた Fig. 3 (a), (b) の位置で、元素分析を行ったものを Fig. 4 及び Fig. 5 に示す。マッピングを行うと Al と Ti は差が明確であったが、Al と Zn では両者が様々な組成比で存在する領域があることが確認された。Al と Zn は広い範囲で固溶体を作る元素であり、合金化されたものと考えられる。

Fig. 6 に Fig. 3 (a), (b) の位置における成形部表面からの距離とビッカース硬さの関係を示す。Ti は内部に部分的に硬さが上昇した点があった。これは Ti の粒子が多く分散した位置だったためと考えられる。また、表面付近は母材に比べてわずかに硬さが硬くなっているが、これは加工硬化が考えられる。一方、Zn については表面近傍の硬さが上昇した結果となった。表面付近に Zn が混ざり込んだため、合金化による固溶強化が要因と考えられる。

4. 結言

Ti 及び Zn を溶射した A5052 に対して摩擦攪拌インク

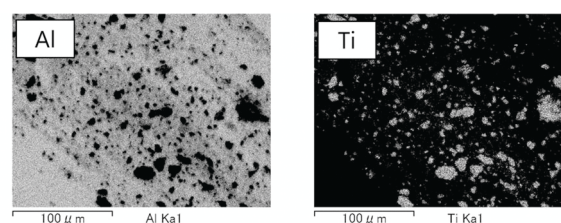


Fig. 4 Element mapping of Fig. 3 (a)

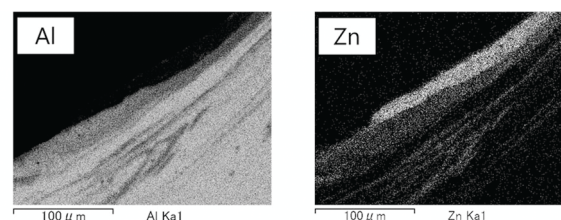


Fig. 5 Element mapping of Fig. 3 (b)

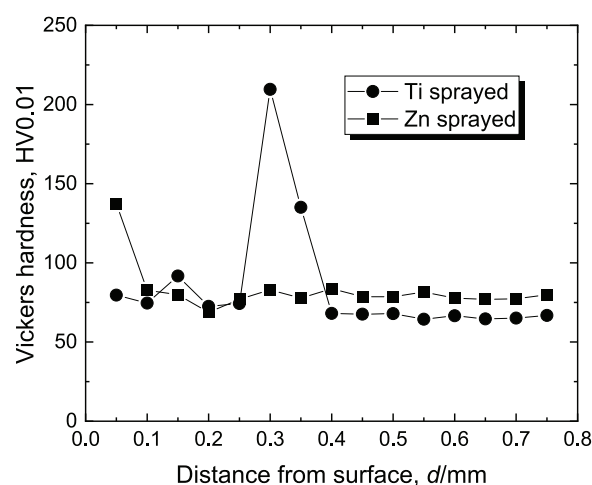


Fig. 6 Vickers hardness

リメンタルフォーミングを行った。Ti は粒状で成形部に部分的に分散し Zn は成形部全体に入り込んだ。それぞれの改質元素が存在する位置では硬さの上昇が見られた。

参考文献

- 1) 大津ら:塑性と加工, **52** (2011) 710-714
- 2) 長岡ら:スマートプロセス学会誌, **4** (2015) 153-158

キーワード：摩擦攪拌インクリメンタルフォーミング、張出し加工、ダイレス加工

Alloying by Friction Stir Incremental Forming

Functional Material Processing Section; Kosuke SAKAI, Hideki YAMAGISHI and Satoshi MURAKAMI

In this study, A5052 sheet sprayed with Ti powder and Zn powder was formed by friction stir incremental forming. Ti powder was granulated and mixed into formed A5052 partially. Zn powder was mixed into formed A5052 and made layers. The hardness of formed area with modifying powder increased. This result is thought to be due to dispersion strengthening and alloying.