

## 研究ノート

# 摩擦撹拌接合を用いた付加製造における アルミニウム合金の引張強度特性

河田圭一\*1、児玉英也\*1、菅野祐介\*1、廣澤考司\*2、横山博\*2

## Tensile Properties of Aluminum Alloy in Additive Manufacturing using Friction Stir Welding

Keiichi KAWATA\*1, Hideya KODAMA\*1, Yusuke KANNO\*1,  
Koji HIROSAWA\*2 and Hiroshi YOKOYAMA\*2

Industrial Research Center \*1\*2

造形時間を短縮できる摩擦撹拌接合を利用した新しい金属付加製造技術の研究開発が行われている。しかしながら、造形された材料特性はまだよくわかっていない。そこで、本研究ではアルミニウム合金 A5052 を対象とした造形材料の引張試験を行い、強度特性について調べた。その結果、使用した板材に対し、摩擦撹拌接合による造形材料の引張強さは約 10%低下していることが分かった。

### 1. はじめに

近年、航空機部品や樹脂成形用金型などの製造工程を中心に、金属付加製造(Additive Manufacturing、以下 AM)の実用化が進められている。AM は切削加工などの従来技術では製造できない形状やラティス構造による軽量化などが実現できることから、様々な分野で利用が期待されている。AM は、粉末床溶融結合法(Powder Bed Fusion、以下 PBF)を代表とする 7 つに分類され<sup>1)</sup>、それぞれの特徴を利用した様々な研究開発が行われている。しかし、造形時間が長い、造形できる金属材料に限られることなどが課題となっている。

一方、名古屋大学や企業を中心として摩擦撹拌接合(Friction Stir Welding、以下 FSW)を利用した新しい金属 AM 技術の研究開発が行われている<sup>2)</sup>。本技術は、FSW で板材を重ね合わせ接合した後、切削加工により目的の形状を削り出すことを繰り返すことで三次元造形を行う。造形時間が PBF などと比較して短いこと、一般に利用されている合金材料が利用できること、レーザ焼結が難しいアルミニウム合金や銅合金などの造形が可能なことなどが特徴である。一方、本技術で造形された材料は FSW により材料全体が撹拌と接合された状態となっており、材料特性がよくわかっていない。そこで、本研究ではこの造形材料の機械特性を把握することを目的に、アルミニウム合金 A5052 を対象とした引張強度試験を実施した。ここでは、送り速度の影響について調査した結果について報告する。

### 2. 実験方法

#### 2.1 FSW ツール

板材の接合に用いた FSW ツールの概観を図 1 に、ツールの主要寸法を表 1 に示す。マシニングセンタを使用した FSW では、一般的な FSW 装置のようにツールを数度傾けて接合することが出来ないため、ショルダ部の端面には渦巻き状の溝を設けることで、接合時におけるバリの発生を極力抑えた。

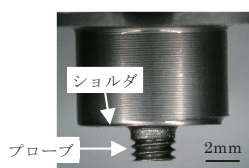


図 1 FSW ツール外観

表 1 ツールの主要寸法

ショルダ径	φ 10mm
プローブ径	φ 3mm
プローブ長	2.3mm
ねじピッチ	0.5mm
材質	SKH56

#### 2.2 FSW による造形方法

図 2 に示す(a)~(d)の手順を繰り返すことによりブロック状の造形材料を製作した。はじめに、厚さ 2mm のアルミニウム合金 A5052-H34 の板材を(a)のようにねじで固定し、重ねた板材と造形材料を(b)のように FSW で仮接合した後、ねじを取り外した。各接合試験条件で接合後の上面は、(c)のように FSW のツールマークによる起伏が大きく、そのままでは次の板材を設置できないため、(d)のように上面を 0.3mm エンドミルにより切削し、平滑にした。

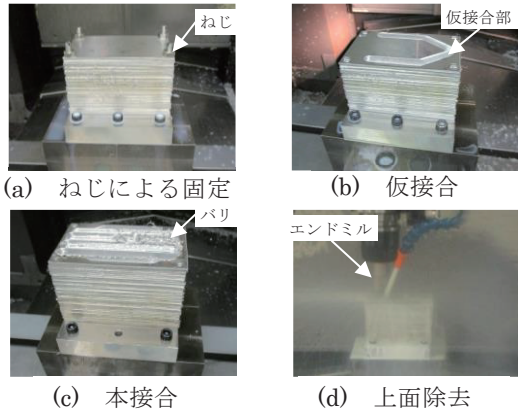


図2 FSWによる造形手順

2.3 FSWの接合経路及び接合条件

FSWによる接合経路を図3に示す。(a)に示す位置でツールを挿入後、300、400、500mm/minの条件で接合経路を移動した。隣接する経路のピッチは2mmとした。ツールの回転数は2000rpm、挿入深さは2.4mmとした。板材と同種のベース材料に順次合計36枚の板材を接合してブロック状の造形材料を得た。断面Aで切断後、各送り条件に対応した位置で(b)のように試験片を作製した。引張試験片の形状は14号Bとし、厚みは3mmとした。各送り条件で3枚作製し、万能試験機により引張試験を実施した。

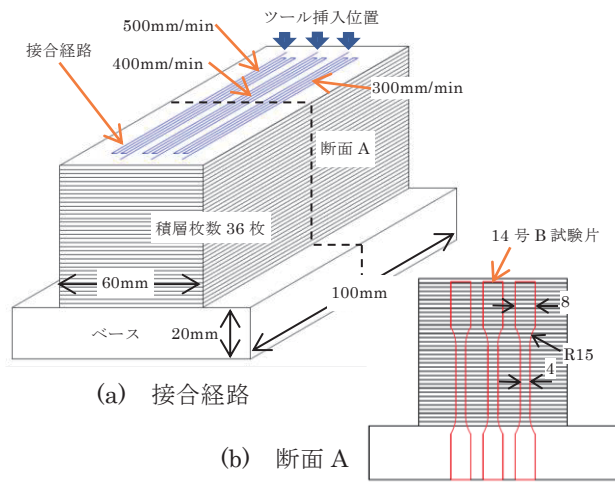


図3 ツール経路及び引張試験片切り出し位置

3. 実験結果及び考察

引張試験結果を図4に示す。接合に使用した板材に対し、どの送り条件においても引張強さ、伸びともに低下した。特に、送り500mm/minの条件で最も悪く、引張強さは44%、伸びは83%低下した。他の送り条件では、強度は約10%、伸びは約50%の低下とほぼ同程度であることから400mm/minが送りの上限と推察できる。

送り300、500mm/min時の破断面をSEMにより観察した結果を図5に示す。どちらの条件においても経路

方向に沿ってディンプル部とツールマーク部が観察され、破断面の様子が異なった。ツールは2mmピッチで往復しており、ツールの進行方向と同じ回転方向に攪拌される前進側部分と反対方向に攪拌される後進側部分が交互に創製される。これにより、それぞれの部分で金属組織が異なる状態が生じ、破断面の様子が異なったと思われる。特に、ツールマークが見られる破断面を詳細に観察すると、非常に小さいディンプル状の破断面が観察された。しかし、500mm/minの条件では粒界破壊とみられる部分も多く混在していることから、引張強さと伸びが大きく低下したと推察される。なお、引張強さと伸びが同程度であった400mm/minの破断面では、300mm/minと同様なディンプルを呈していた。

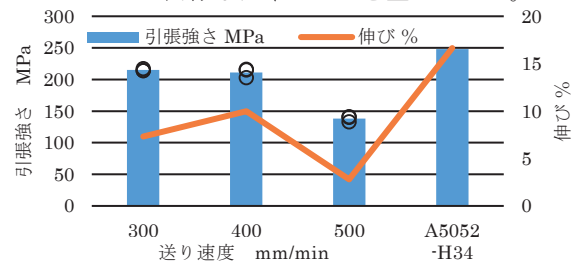


図4 引張試験結果

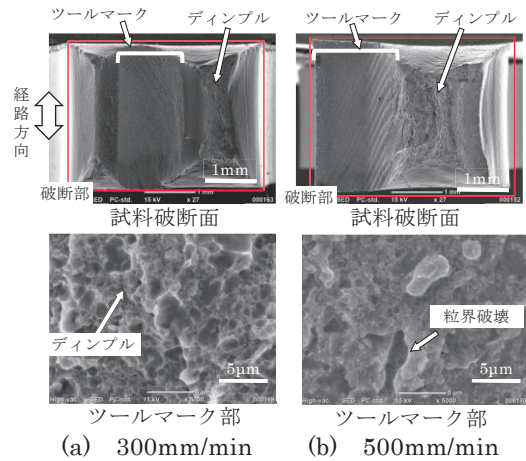


図5 SEMによる破断面観察

4. 結び

本研究の結果は、以下のとおりである。

- (1) 接合に使用した板材に対し FSW の造形材料は約10%引張強さが低下した。
- (2) ツールの経路方向に沿って破断面の様子が異なった。

付記

本研究は、「知の拠点あいち重点研究プロジェクトIII期」で行った研究の一部である。

文献

- 1) JIS B 9441:2020, 付加製造(AM)用語及び基本的概念
- 2) 特許第 6587028 号