

## 研究論文

# 塑性加工を応用したアルミニウム合金の新生面接合技術 における板厚と合金種類の影響

永縄勇人\*1、津本宏樹\*1、廣澤考司\*1、宮本晃吉\*2

## Effects of Plate Thickness and Alloy types in the Forming Technology of Fresh-Surface-Joining for Aluminum Alloys

Hayato NAGANAWA\*1, Hiroki TSUMOTO\*1, Koji HIROSAWA\*1,  
and Kokichi MIYAMOTO\*2

Industrial Research Center \*1\*2

塑性加工を応用した新生面接合技術を用いて種々のアルミニウム合金を接合し、その板厚の組み合わせ方による接合力への影響を調査した。接合する板厚の比率が 2 以下で高い接合力が得られることがわかり、上板が厚い場合の方が高い接合力が得られることがわかった。また、溶接が難しいとされるジェラルミン系においても高い接合力を示し、異種のアルミニウム合金間の接合も可能であることがわかった。

### 1. はじめに

金属を接合する新たな試みとして新生面接合技術が報告されている<sup>1),2)</sup>。これは塑性加工を応用して表面積拡大により酸化皮膜を破壊して活性な新生面を露出させ、高い面圧で界面の空隙を潰すことで金属的な結合を促すものである。本技術の特徴は、簡易かつ高い生産性で固相接合を実現でき、接合が困難である異種金属の接合も可能にする点がある<sup>3)</sup>。しかし、まだ技術的な知見に乏しく、最適な接合の条件はよくわかっていない。

著者らはかねてよりこの技術に注目し、板厚 2.3mm のアルミニウム合金(以下 Al 合金)A5052 を用いて成形モーションや表面処理、ダイクッションを用いた背圧などの接合条件を調査してきた<sup>4)</sup>。しかし、塑性加工を応用した技術のため、金型の形状が固定されている場合には板厚によって変形具合が変化し、接合への影響となって現れる。また、A5052 より高強度だが成形性の劣るジェラルミン系の Al 合金では、高強度に接合するための新生面を確保できない可能性もある。

そこで本研究では、接合供試体の厚みに注目し、板厚の組み合わせが接合に与える影響を調査するとともに、A5052 以外の Al 合金への応用を試みた。

### 2. 実験方法

#### 2.1 接合試料

接合試料には、表 1 に示す Al 合金を用いた(150×50mm, t:1.0~4.0)。また、前処理として各試料の表面

を十分に洗浄し、ショットブラスト(投射材:アルミナ(平均粒径 106~125 $\mu$ m))処理を行った。

表 1 接合試料の Al 合金とその物性<sup>5)</sup>

	A5052	A2024 -T3	A6061 -T6	A7075 -T6
	非熱処理	熱処理型		
引張強度	260MPa	480MPa	310MPa	520MPa
溶接性	◎	△	◎	×
成形性	◎	△	○	×

#### 2.2 接合条件

図 1 に示す金型(ユーアイ精機(株)製)により、サーボプレス機((株)アマダ製、SDE1522)を用いて表 2 に示す条件で接合した。

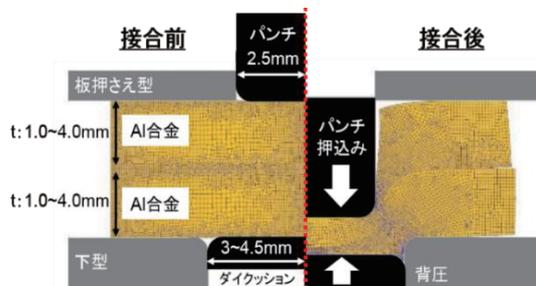


図 1 金型形状と接合機構

#### 2.3 接合の評価

##### 2.3.1 十字引張試験

JIS Z 3137 抵抗スポット及びプロジェクション溶接継

表 2 接合条件

接合条件	a	b	c	d
Al 合金の種類	A5052	A5052	A2024-T3, A6061-T6, A7075-T6	A5052
板厚 t (mm)	1.0~4.0	1.0~4.0	2.0~4.0	2.3
合計板厚に対するパンチ押込率	50~95	70~95	70~95	83
ダイクッション径 (mm)	7.0	6.0~9.0	7.0	
気温 (°C)	約 35		約 5	
ストローク距離 (mm)			225	
背圧 (kN) ※1			20.1	
毎分ストローク数 (spm) ※2			50	
下死点での停止時間 (s)			10	

※1: CAE 解析を用いて算出 ※2: 下死点での停止時間を除いてクランクモーションとして換算

手の十字引張試験に対する試験片寸法及び試験方法に準ずる方法により接合力を測定した。

### 2.3.2 接合面観察

接合部中央で切断して樹脂に埋め込み、切断面を各種研磨によって鏡面処理し、金属顕微鏡を用いて観察した。

### 2.3.3 CAE 解析

CAE 解析には塑性加工用 CAE ソフトである DEFORM(Scientific Forming Technologies Corporation 社製)を用いた。金型モデルは簡易形状で作成し、計算領域を対称軸から半径 7mm までとした(図 1)。金型は剛体、接合試料は弾塑性体とし、摩擦せん断係数は著者らが以前に報告した面積拡大比との関数を用いた<sup>4)</sup>。その他の計算条件については表 3 に示すとおりとした。

表 3 計算パラメータ

初期メッシュ数	金型各部位: 500 接合試料: t×1000
ソフト内標準データ	金型各部位: AISI-H-13 接合試料: ALUMINUM-5052[20-480°C]
熱伝達率	11 N/s/mm/°C
工具動作	パンチ: クランクプレス 板押さえ型: 一定荷重(8 kN)

## 3. 実験結果及び考察

### 3.1 異なる板厚の組み合わせが接合に与える影響

#### 3.1.1 パンチ押込量が接合に与える影響

接合条件 a で試料を作製したところ、合計板厚が 4.0mm 以上の組み合わせで試料を接合することができ、3.0mm 以下の場合には接合試料を板押さえ型と下型で固定できず、狙った塑性変形ができないために接合ができなかった。上板 2.0mm/下板 4.0mm で作製した試料の接合面断面を観察したところ(図 2)、中央部付近で界面の消失が確認でき、新生面接合によって接合していることが示唆された。

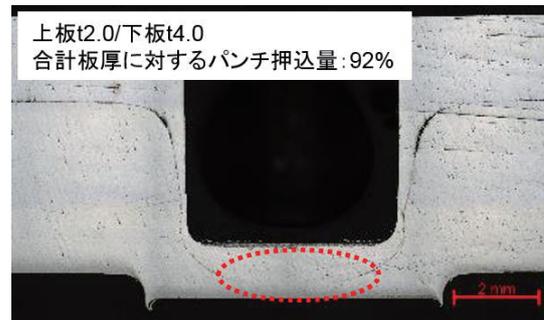
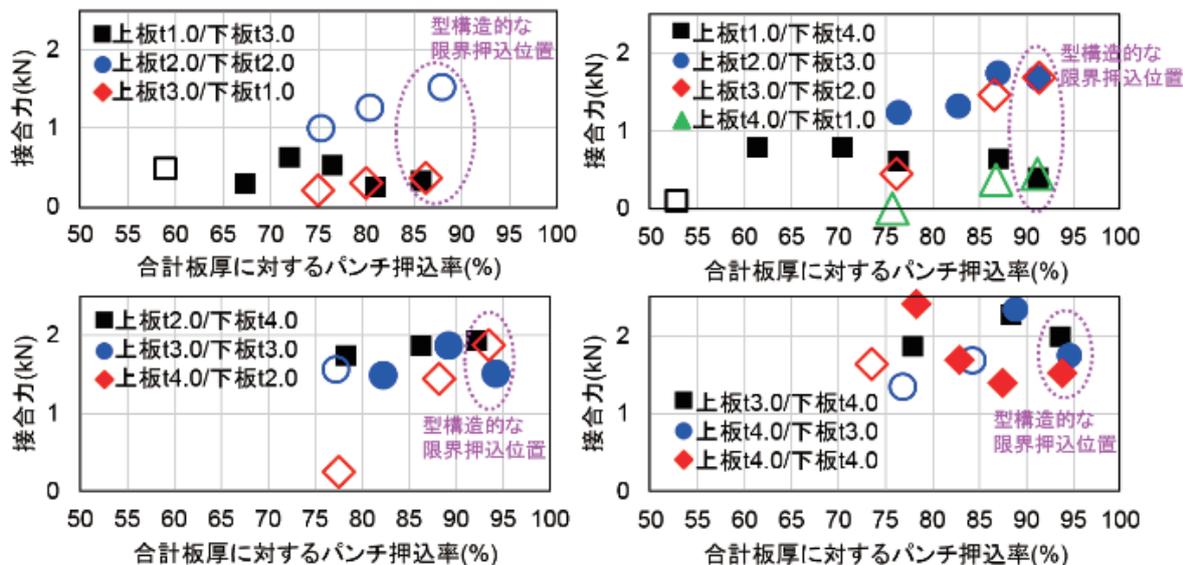


図 2 接合条件 a で作製した試料の断面

接合条件 a で作製した試料の十字引張試験結果を図 3 に示す。破壊の形態としては図 4 に示すとおり「上板母材破壊」及び「界面での剥がれ」の 2 種類があり、板厚の組み合わせ及びパンチ押込み率によって破壊の形態が分かれた。パンチ押込率が小さい場合は、新生面で接合した部位が少なく、接合界面から剥がれるように破壊した(図 3 のグラフ凡例塗潰無)。パンチ押込率が大きい場合は、十分な接合面積が確保できるため、上板の母材で破壊した(図 3 のグラフ凡例塗潰有)。このとき、十分な接合面積が確保でき板母材破壊の場合、つまりパンチ押込率が大きい場合の方が高い接合力が得られる傾向にあることがわかった。しかし、パンチ押込率が大き過ぎる場合は上板の肉厚が薄くなってしまい、逆に接合力が低下していくこともわかった。

合計板厚が同じ場合で比較したところ、接合試料の板厚差が大きい場合は高い接合力が得られにくいことがわかった。この理由としては、上板が薄い場合は上板の肉厚がさらに薄くなりやすいためであり、上板が厚い場合は接合面積を確保するための変形量を確保できないためである。そのため、板厚差が小さいときの方が高い接合力を示す傾向となり、最適な板厚比は 2 以下であることがわかった。

合計板厚が同じ場合における板厚の組み合わせを検証するために CAE 解析したところ(図 5)、ダイクッション



※ 塗潰無/接合界面での剥がれ 塗潰有/上板母材破壊

図3 接合条件 a で作製した試料の接合力

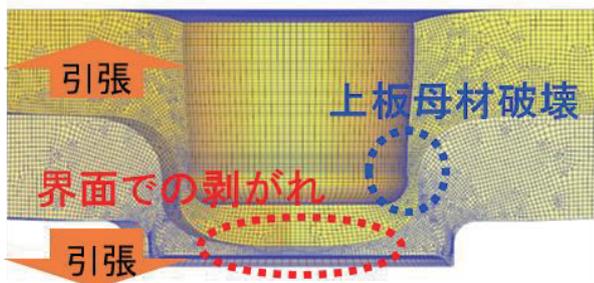


図4 破壊の形態

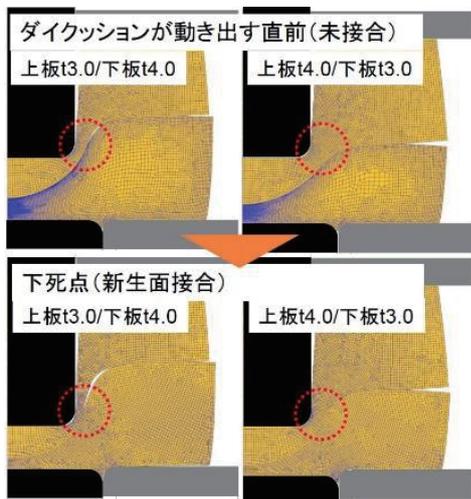


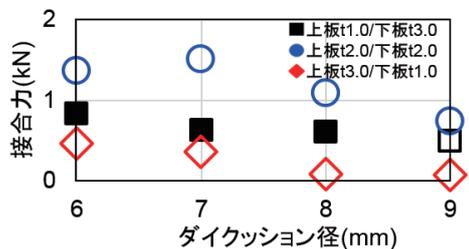
図5 CAE 解析結果

が動き出す直前までは同じようにパンチが上板をせん断的に変形させていったが、母材破壊しやすい部位(点線内)を比較すると上板が厚い場合の方が肉厚になった。

3.1.2 ダイクッション径が接合に与える影響

接合条件 b(接合条件 a で作製した各板厚の組み合わせの中で最も接合力が高いパンチ押込率の条件)で作製した試料の十字引張試験結果を図 6 に示す。高い接合力を

示した板厚比 2 以下の組み合わせで作製した試料は全てダイクッション径が 7mm のときに最も高い接合力が得られることがわかった。このことから、パンチとダイクッションの比率が接合に大きく影響を与えることが示唆された。



※ 塗潰無/接合界面での剥がれ 塗潰有/上板母材破壊

図6 接合条件 b で作製した試料の接合力

3.2 Al 合金の種類が接合に与える影響

接合条件 a~c で作製した接合試料の十字引張試験の結果を図 7 に示す。なお、ここではそれぞれの板厚の組み合わせの中で最も高い接合力を示したパンチ押込率の値を示した。同種 Al 合金間の接合は、図 7 凡例 A~D の結果から、どの Al 合金も A5052 と比べて母材強度が高いことから、接合力も高くなっていることがわかった。また、溶接を始めとした熔融接合が非常に難しく、成形性も低いジェラルミン系(A2024、A7075)でも問題なく接合できることがわかった。

3.3 異種 Al 合金間の接合

異種 Al 合金間で接合した結果(図 7 凡例 E)と同種 Al 合金間(図 7 凡例 A,B)で接合した結果を比較した。板厚 2.0mm 間の接合においては、型構造的都合上、上板が母材破壊するまでパンチ押込率を上げることができず、

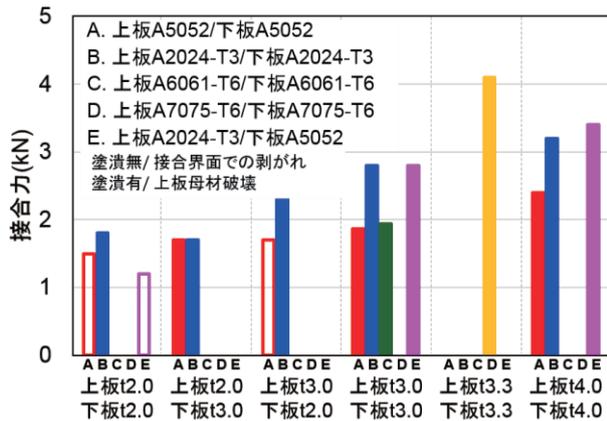


図7 接合条件 a~c で作製した試料の接合力

高強度 Al 合金である A2024 間の接合力が最も高く、異種 Al 合金間接合の接合力が小さく出た。しかし、十分にパンチ押込率を上げることができた板厚 3.0mm 間以上の接合においては、上板の母材で破壊したため、異種 Al 合金間接合においても高強度の A2024 間の接合と同程度の接合力を示した。このことから、同板厚を組み合わせた場合においては、上板の強度に接合力が依存することがわかった。

3.4 気温が接合に与える影響

気温などによる接合時期の影響を調査するため、板厚 2.3mm の A5052 を用いて接合条件 a 及び d で比較を行った。その結果、破壊形態は同様(接合界面での剥がれ)

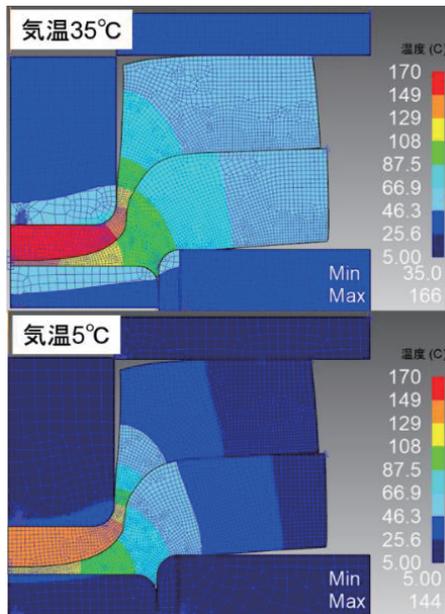


図8 気温が接合に与える影響の CAE 解析

にも関わらず、気温によって接合力に差(気温約 35°C:1.8kN, 気温約 5°C:1.5kN)が生じた。CAE を用いて気温が接合時に与える影響を計算したところ(図 8)、接合面付近で 20~30°C の温度差が生じていた。材料の変形に由来する発熱によって接合力が向上することを以前報告したが、今回の研究で接合力は気温によっても影響を受けることがわかり、温度制御によってより高い接合力が得られる可能性が示唆された。

4. 結び

本研究の成果は、以下のとおりである。

- (1) 接合試料の板厚を組み合わせたところ、接合試料の板厚差が小さいときの方が高い接合力を示す傾向があり、最適な板厚比は 2 以下であることがわかった。
- (2) 板厚の組み合わせについては、実験と CAE 解析の結果から、上板が厚い場合の方が高い接合力が得られやすいことがわかった。
- (3) パンチ径 5mm で接合を行う場合、板厚の組み合わせによらずダイクッション径が 7mm のときに最も高い接合力が得られることがわかった。
- (4) 熔融接合が非常に難しく、成形性も低いジェラルミン系の接合においても問題なく接合が可能であることがわかった。また、同板厚を組み合わせた場合、上板の強度に接合力が依存することがわかった。
- (5) 気温の影響で接合力に差が生じることがわかった。これを CAE 解析で計算したところ、接合面付近で 20~30°C の温度差が生じていることがわかり、温度制御によってより高い接合力が得られる可能性が示唆された。

謝辞

本研究の実施に当たって、金型の提供にご協力頂いたユーアイ精機(株)の水野様にお礼申し上げます。

文献

- 1) 特願 2012-163271: 板金結合方法
- 2) 特願 2016-121175: 板金結合方法
- 3) 石川孝司: 素形材, 9, 61(2020)
- 4) 永縄勇人, 津本宏樹, 廣澤考司, 宮本晃吉, 福原徹: あいち産業科学技術総合センター研究報告, 9, 32(2020)
- 5) 椋山正孝: 非鉄金属材料, 173(1963), コロナ社