

ADC12 アルミニウム合金摩擦攪拌接合における ツールの摩耗量と流動状態や接合強度との関係

日大生産工(院) ○岡崎 諒 日大生産工 前田 将克

1. 緒言

アルミニウム合金ダイカスト材 ADC12 は安価に複雑形状を大量生産できることから、自動車部品に多く適用されている。大型の部品を製造する際にはより大きなダイカストマシンを必要とするが、同時に設備費用と占有面積も増大するため、導入可能な工場は限定的である。そこで、接合による複数部品の一体化を可能とすることによりこの課題を解決することが期待される。しかし、ADC12 ダイカスト製品は、鑄造欠陥やガス含有量の多さから熔融溶接が困難とされる。そこで、固相接合法の中でも低入熱で接合が可能な摩擦攪拌接合(Friction stir welding: FSW)が提案される。ADC12 の FSW では、ツールへの摩耗負荷低減が必要となると考えられる。例えば、AC4A 基 30vol%SiC 粒子分散強化複合材料では顕著な摩耗が発生することが報告されているように、硬質相を含む材料を攪拌するとプローブが研削されるためである¹⁾。ADC12 には鑄造性向上のために 10~12%の Si が含まれているほか、Cu や Fe の含有量も多く、硬質相である Si や金属間化合物が混在した多相組織を呈することから、上述の複合材料と同様の摩耗現象が発生すると推察する。

本研究では ADC12 の FSW におけるツールの摩耗試験として、M5 ねじプローブを設けた SKD61 製ツールを用いて母材へ Stir-in-plate での FSP(Friction stir processing)を実施し、ツールの摩耗状態を調査することにより摩耗特性を検討する。また、ツールの摩耗状態が継手組織形成過程や継手強度に及ぼす影響を調査するため、チップマーカの挿入による流動調査と継手の引張試験を実施する。

2. 実験方法

供試材には板厚 3 mm の ADC12-F 板を長さ 145 mm、幅 65 mm に機械加工を施したものを使用した。摩耗試験の FSP 条件を Table 1 に示す。処理方向は供試材の湯流れ方向と平行とし、板を直列に 2 枚配置して処理長さ 250 mm の FSP を計 40 回(総走行距離 $L=10000$ mm)実施した。接合開始点にはプローブ挿入時の圧縮変形を防止するため、予めプローブ径と同径の穴を設けた。ツールは SKD61 をショルダ径 15 mm、ショルダ角 4° 、プローブ形状 M5-LH、プローブ長 2.3 mm に機械加工を施して使用した。

摩耗試験を行ったツールの評価をプローブのおねじの山径の計測と、デジタルカメラの撮影による外観観察により行った。なお、山径の測定基準は、計測点をプローブ先端部から 2 番目と 3 番目のねじ山径とし、マイクロメータによる接触式計測と 0.1 mm 間隔スケールを基準とする画像寸法計測の 2 方式で実施した。

攪拌状態の調査方法は、供試材にマーカとして厚さ 1 mm の A6061 製チップを板厚中央部に埋め込んで FSP を施し、その断面を巨視観察することで流動状態の可視化を図った。また、摩耗試験を行ったツールを用いて母材の突合せ接合を $V=15$ mm/s の条件で実施し、継手の継手効率を摩耗試験前後で比較した。

Table 1 Wear test conditions (FSP).

| Parameters | Symbol | [unit] | Value(s) |
|------------------|----------|--------------|-----------|
| Rotational speed | N | [rpm] | 1100 |
| Processing speed | V | [mm/s] | 5, 10, 15 |
| Tilt angle | θ | [$^\circ$] | 3 |
| Preheating time | t | [s] | 10 |

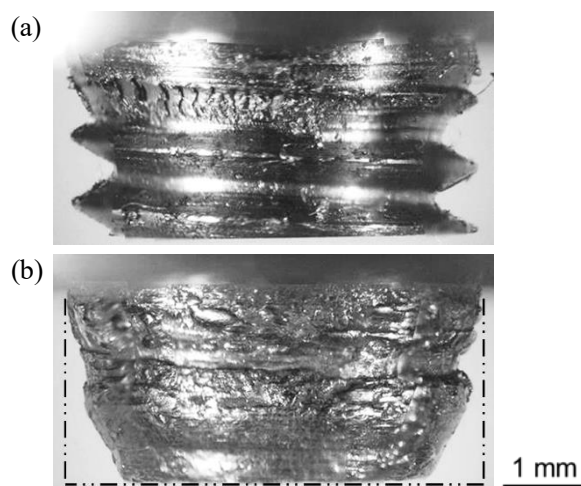


Fig. 1 Probe appearance before and after wear test.

(a) Before wear test ($L=0$ mm).

(b) After wear test ($L=10000$ mm, $V=10$ mm/s).

The two-dotted line is the screw outline before wear test.

ADC12 Aluminum Alloy in Friction Stir Welding
Relationship of tool wear to flow condition and joint strength.
Ryo OKAZAKI, Masakatsu MAEDA

3. 実験結果および考察

Fig. 1に $V=10$ mm/sの摩耗試験前後におけるプローブの外観変化を示す。(a)が摩耗試験前、(b)が摩耗試験後である。また、二点鎖線は試験前のプローブの山径であり、通過したプローブの径を示している。前後を比較するとねじ山が摩耗し、丸みを帯びていることが確認できる。また、プローブ先端部に掛けて摩耗が特に顕著であり、先端部の直径は元のねじの谷径よりも細くなるのが判明した。プローブ先端部の摩耗が最も激しくなる原因は、裏当て板に近いほど低温となり流動が弱くなるのに加え、前進角の付与によりプローブ先端部がほかの部位よりも早く流動を始めていない材料に接触するためプローブ近傍の材料流動層が薄くなり、せん断負荷が増大したことにより摩耗量が増大したと推測される。

Fig. 2に走行距離と摩耗量の関係を処理速度ごとに比較したグラフを示す。どの処理速度においても試験直後の0~5000 mmが最も摩耗量が大きく、ある程度ねじ山が丸みを帯びると摩耗が鈍化するとみられる。また、摩耗量は5, 15, 10 mm/sの順に増加しており、処理速度との比例関係ではないことがわかる。これは、処理速度の増加に伴う摩耗への影響因子が攪拌時間の減少による摩耗量の減少と、プローブ近傍の材料流動層の厚さの減少により発生した剪断負荷の増大による摩耗量の増加の2種類が競合しているためだと推察される。

Fig. 3にチップマーカを用いて流動調査を行った結果を、摩耗試験前後のプローブおよびねじ加工を施していない円柱プローブ($\phi 5$)の3種類で比較した巨視的組織を示す。円柱プローブでの流動状態は、摩耗の進行によりねじ山が完全に消失した後の状態を想定している。白い部分がマーカーとして埋めたチップである。摩耗試験前後および、円柱プローブを比較すると、ツール回転方向の流動はほぼ変化しておらず、板厚方向の流動のみが大幅に減衰していることがわかる。よって、ねじが板厚方向の流動を主体的に発生させており、ねじが摩耗するとその機能が大幅に低下する。

Fig. 4に各処理速度の摩耗前後のプローブと円柱プローブで母材の接合を実施し、継手の引張試験を行った結果を示す。プローブごとの強度に有意な差は確認されず、摩耗による継手効率への影響は見られない。

参考文献

1) H.J. Liu *et al.*: International Journal of Machine Tools & Manufacture, 45 (2005) 1635–1639.

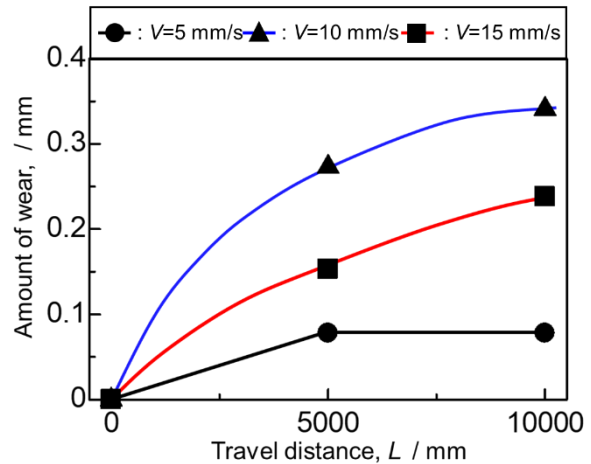


Fig. 2 Dependence of distance traveled on amount of wear.

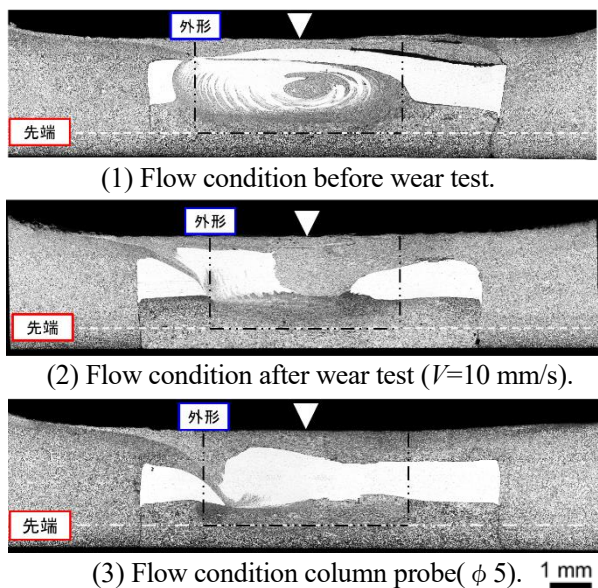


Fig. 3 Flow conditions for each probe. (M5, wear tool($V=10$ mm/s), column ($\phi 5$))

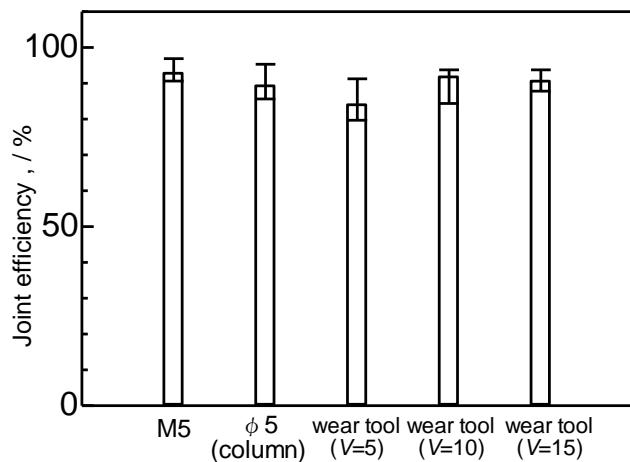


Fig. 4 Joint efficiency for each probe.