

ろう材不要の新ろう付技術 “MONOBRAZE®” の開発

黒崎友仁^{*1)} 村瀬 崇^{**} 寺山和子^{*1)**} 石 雅和^{*2)**}
戸次洋一郎^{*2)} 二宮淳司^{*3)} 新倉昭男^{*4)}

1. 緒 言

アルミウム合金の用途の一つに、熱交換器やヒートシンク等の炉中ろう付によって製造される製品がある⁽¹⁾⁻⁽⁵⁾。炉中ろう付は同時に多数の接合部に対して、信頼性が高く熱伝導性の良い金属接合を形成できるというメリットがある。

従来のろう付では、被接合部材の少なくとも一方にろう材をクラッドした複層材⁽⁶⁾⁽⁷⁾を用いるか、接合部近傍に単独のろう材を設置する必要があった。しかし、複層材は単層材に比べて生産性が低いという難点があった。また、単独のろう材を使用する場合においては、設置工程が必要になるという難点があった。

そこで我々はろう材が不要の新しいろう付技術を検討した。ろう材を用いずにろう付するためには、1つの材料に接合性(ろうの供給)と耐変形性(形状の維持)の2つの機能を持たせる必要がある。前者は液相の状態で見現する機能であり、後者は固相の状態で見現する機能である。検討の結果、Al-Si系合金材を固液共存状態に制御することで、固相と液相の機能を両立できることを見出した。本報告では、この検討結果を元に開発した“MONOBRAZE®”について報告する。

2. 接合性および耐変形性に及ぼすケイ素量の影響の検討⁽⁸⁾

Al-Si系合金は従来のろう付においてろう材として用いられる合金である。従来のろう材はケイ素量が7.5~12 mass%程度であり、ろう付時に約600°Cに加熱されるとほぼ全て液相となって接合部に供給される。そこで、ケイ素量を低減し、固液共存領域における液相率を低下させた際の接合性および耐変形性を調査した。

実験方法の概要を説明する。厚さ0.2 mm、ケイ素量2, 3, 4 mass%のAl-Si系合金板材を作製し、ろう付機能を有さない3000系Al製フィン材と組み合わせた試験片をろう付試験に供した。その後、ろう付後の試験片の断面を光学顕微鏡で観察した。光学顕微鏡像による評価方法を図1に示す。図1(a)は接合性の評価方法であり、接合長が長い程接合性が良好であることを示す。図1(b)は耐変形性の評価方法であり、変形量が小さい程耐変形性が良好であることを示す。

接合性および耐変形性の評価結果を図2および図3に示す。ケイ素量の増加に伴い、接合長が増加し、接合性が上昇した。一方変形量が増加し、耐変形性が低下した。Al-Si系二元系平衡状態図⁽⁹⁾は、ケイ素量が増加する程ろう付中の液相率が増加することを示している。ケイ素量増加による接合性および耐変形性の変化は、ろう付時の液相率増加によるものと考えられた。本実験結果から、顕著な変形を起こさずに良好な接合性を得るには、ケイ素量は2 mass%程度が適切と推定された。

* 株式会社 UACJ R&D センター:

1) 研究員 2) 首席主幹 3) 主幹 4) 部長

** 乳源東陽光 UACJ 精箔有限公司: 副総工務師

*** 株式会社 UACJ 板事業本部深谷製造所 1) 品質保証部: 主査
2) 製造部: 主査

Development of Filler Less New Brazing Technology “MONOBRAZE®”; Tomohito Kurosaki*, Takashi Murase**, Kazuko Terayama***, Masakazu Seki***, Yoichiro Betsuki*, Junji Ninomiya* and Akio Niikura* (*R&D Division, UACJ Corporation. **Ruyuan Dongyangguang UACJ Fine Aluminum Foil co., Ltd. ***Fukaya Works, Flat Rolled Products Division, UACJ Corporation)

2018年11月22日受理[doi:10.2320/materia.58.114]

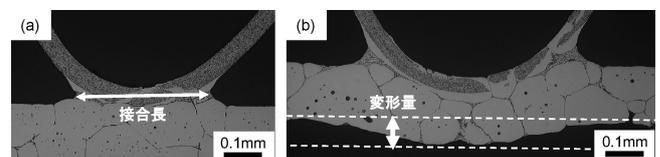


図1 (a) 接合性および(b) 耐変形性の評価方法⁽⁸⁾。

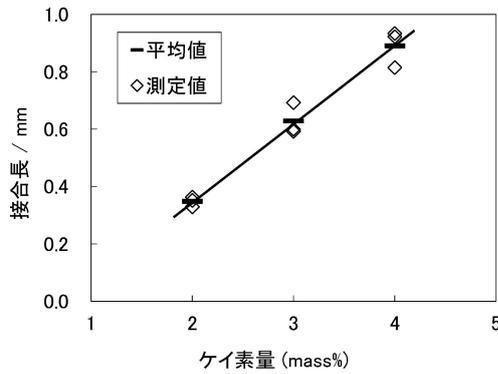


図2 接合長に対するケイ素量の影響⁽⁸⁾。

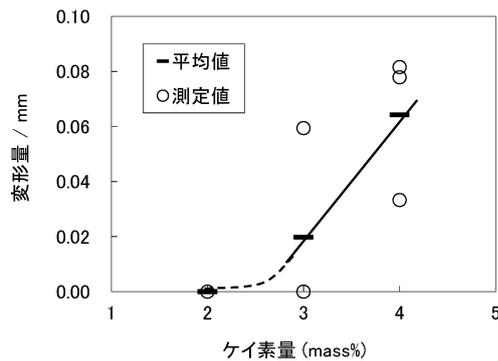


図3 変形量に対するケイ素量の影響⁽⁸⁾。

3. 接合のメカニズム⁽⁸⁾

上述のような、ろう付時に材料中に部分的に液相が発生する場合の接合メカニズムについて調査した。Al-Si系合金材を固相線温度近傍に加熱した際のその場金属組織観察結果を図4に示す。固相線温度以上の585℃～590℃において、ケイ素粒子が球状に溶解する様子が観察された。また、結晶粒界に沿って膜状に液相が発生する様子が観察された。この結果から推定される接合メカニズムを図5に模式的に示す。図5(a)はAl-Si系合金材がろう付中に溶解する直前の断面状態を示している。ケイ素粒子とろう付中に形成された再結晶粒界が存在する。その後、図5(b)に示すように、ケイ素粒子および再結晶粒界において溶解が開始し、液相(ろう)が発生する。そして、溶解時の体積膨張や表面張力により、図5(c)に示すように結晶粒界や材料表面を経路として液相(ろう)が接合部に供給される。

このメカニズムを元にケイ素量の影響を考察した。ケイ素量が増加すると、ケイ素粒子や結晶粒界に濃化するケイ素量が増加するため、材料全体の液相量が増加する。そのため、接合部に供給される液相量が増加する一方で、結晶粒界に発生する液相により結晶粒同士の拘束が弱められて耐変形性が低下する。このメカニズムは、ケイ素量が同等であっても、ケイ素粒子分布や結晶粒径の制御によって接合性および耐変形性の向上が可能であることを示唆している。

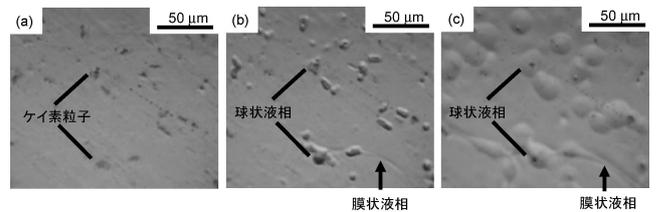


図4 Al-Si系合金材の加熱時のその場金属組織観察⁽⁸⁾。

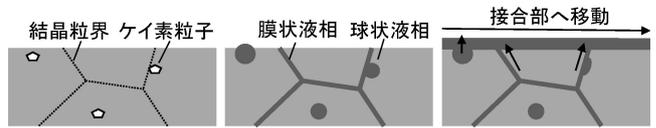


図5 Al-Si系合金材の接合メカニズムの模式図⁽⁸⁾。

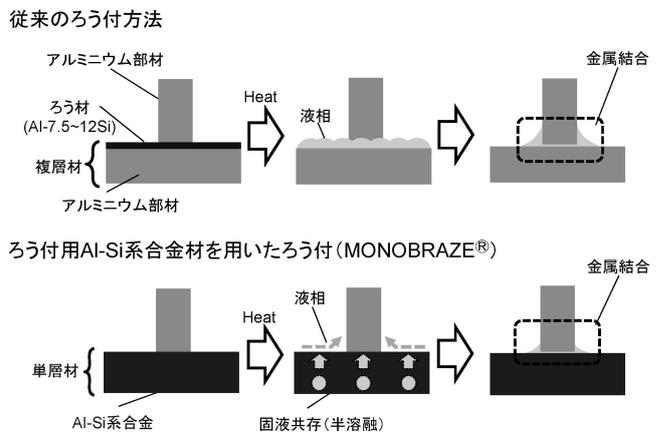


図6 従来のろう付方法とMONOBRAZE®の比較。

4. 従来技術との比較

MONOBRAZE®の主な特徴は、ろう材を用いずにろう付が可能ということである。図6の模式図に示すように、単層材が形状を維持した状態でろうを供給する。そのため、複層材を用いる場合に比べて、素材の生産性が向上し、より安価なろう付用材料を提供可能である。また、押出形材や板厚数十μmの非常に薄肉のフィン材など、複層材が製造困難な形状のろう付用材料を提供可能である。

従来技術と基本的な特性を比較するため、一般的なろう付用複層フィン材(クラッドフィン)とMONOBRAZE用単層フィン材(MBフィン)を用い、熱交換器用フィン材に要求されるろう付性、機械的特性、導電率、自然電位を評価した。

実験方法の概要を説明する。一般的な犠牲防食機能を有するクラッドフィンとしてAl-1.2 mass%Mn-1.5 mass%Zn合金を心材とし、その両面にAl-7.5 mass%Siを10%クラッドされたものを作製した。機械的特性や自然電位を合わせる目的で、このクラッドフィンの心材と同量のマンガンおよび亜鉛を添加したAl-2.5 mass%Si-1.2 mass%Mn-1.5 mass%Zn合金を作製し、MBフィンとした。板厚はどちらも0.07 mmとした。上記フィン材をコルゲート加工し、板厚1 mmのA3003アルミニウム合金材で挟んだ試験片をろう付し

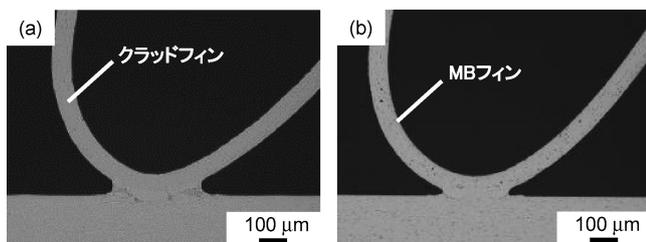


図7 ろう付後の接合部断面光学顕微鏡観察像.

表1 各種特性の評価結果.

特性		クラッドフィン	MBフィン
機械的特性	引張強さ (MPa)	130	140
	耐力 (MPa)	49	49
	破断伸び (%)	8	11
導電率 (%IACS)		42	39
自然電位 (mV vs. SCE)		765	778

た. ろう付温度を600°C, 保持時間を180 sとした. ろう付後の試験片の接合部断面を光学顕微鏡で観察した. さらに, 両フィン材を板状のまま600°C-180 sのろう付模擬加熱に供し, 引張試験, 導電率測定, 自然電位測定を行った.

図7にろう付後の接合部断面光学顕微鏡観察像を示す. MBフィンは比較的接合部の幅が短いものの, 接合部において相手材と金属組織が一体化しており, クラッドフィンと同様のろう付性が確認された. また, フィンの形状に大きな変化はなく耐変形性も同等であった.

表1に機械的特性, 導電率, 自然電位の評価結果を示す.

いずれの特性においても両フィン材に顕著な差異はなく, MBフィンは従来のクラッドフィンと同様の用途に使用可能であると判断された. この結果から, マンガンや亜鉛の添加は MONOBRAZE 用材料のろう付性および耐変形性に顕著な悪影響を及ぼさないことが確認された. MONOBRAZE 用材料における, 種々の特性に及ぼす添加元素の影響についてはまだ十分に解明されておらず, 今後の研究課題である.

5. 結 言

MONOBRAZE®は従来ろう材として用いられている Al-Si 系合金材を単層材として使用し, ろう付中に固液共存領域に制御することでろう材を用いずにろう付することを可能にした新しいろう付技術である. 特に熱交換器用フィン材への適用が期待されており, 既に量産を開始している. また, 本開発技術で特許5021097号, 商標第5545655号を取得しており, さらに関連特許を国内外に多数出願中である.

文 献

- (1) 竹内桂三: 軽金属, **41**(1991), 208-220.
- (2) 中村雅勇: アルミニウム技術便覧, 編集 軽金属協会, カロス出版, (1996), 826-836.
- (3) 川瀬 寛: 軽金属, **48**(1998), 426-431.
- (4) 納 康弘: 軽金属溶接, **30**(2000), 130-142.
- (5) 川瀬 寛: アルミニウムブレージングハンドブック, 編集 アルミニウムブレージングハンドブック編集委員会, 軽金属溶接構造協会, (2004), 3-13.
- (6) 大家正二郎: アルミニウム技術便覧, 編集 軽金属協会, カロス出版, (1996), 1233-1238.
- (7) JIS Z 3263 (2002).
- (8) 黒崎友仁, 村瀬 崇, 寺山和子, 石 雅和, 戸次洋一郎, 二宮淳司, 新倉昭男: 軽金属, **68**(2018), 125-132.
- (9) T. B. Massalski: Binary alloy phase diagrams, **1**(1986), 165.