粉末積層造形された異種アルミニウム合金接合部材の
引張強さに及ぼす後熱処理の効果三浦 汀桜子¹・大森 健司¹・北園 幸一^{1*}Journal of The Japan Institute of Light Metals, Vol. 69, No. 6 (2019), 309–311
© 2019 The Japan Institute of Light MetalsEffect of post heat treatment on tensile strength of dissimilar aluminum
alloy joints manufactured through powder bed fusion processToko MIURA¹, Kenji OMORI¹ and Koichi KITAZONO^{1*}

Al–10Si–0.3Mg alloy has been additively manufactured on a commercial A5083 aluminum alloy bar through powder bed fusion (PBF) process. Post heat treatment at 813 K for 2 h was carried out after the building. The bonding strength before the heat treatment was higher than the tensile strength of A5083 aluminum alloy. The bonding strength after the heat treatment was higher than the tensile strength of Al–10Si–0.3Mg alloy. Energy-dispersive X-ray spectroscopy reveals the diffusion of Mg atoms from A5083 aluminum alloy to Al–10Si–0.3Mg alloy. Experimental results indicate that the PBF process has a potential to manufacture dissimilar aluminum alloy joints. In addition, Al–10Si–0.3Mg alloy possesses good bonding potential to A5083 aluminum alloy even after post heat treatments.

(Received February 5, 2019 Accepted March 13, 2019)

Keywords: bonding strength; Al–10Si–0.3Mg alloy; A5083 aluminum alloy; energy-dispersive X-ray spectroscopy

1. 緒 言

近年、付加製造 (Additive Manufacturing: AM) 技術は、多くの複雑形状の金属部材の作製に利用されている。アルミニウム合金では、比較的低融点かつ時効硬化処理可能な Al–Si–Mg 合金が粉末床溶融結合 (Powder Bed Fusion: PBF) 用の素材として広く利用されている^{1), 2)}。著者らは、PBF 法で作製したポラス Al–10Si–0.3Mg 合金を宇宙機用衝撃吸収材料に用いることを計画しているが^{3), 4)}、積層造形材をシステムの一部として用いる場合、他の部材との接合が必要となる。従来のバルク金属部材と接合する場合、積層造形材の形状が複雑であるほど接合が難しくなる。一般にアルミニウム合金同士は、表面の酸化皮膜により溶接が難しいことが知られている⁵⁾。さらに、3D 積層造形ポラスアルミニウム合金の接合では、溶接や圧接ではセル構造が破壊されてしまうため、接着接合しか有効な接合法がなく、機械部品の作製が限定されていた。そこで、著者らはバルク金属で作製された I/F (Interface) 部材の上に直接ポラスアルミニウム合金部材を積層造形する接合法を現在検討している。しかしながら、積層造形された部材の機械的特性は多くの研究がなされている⁶⁾が、バルク金属部材と積層造形された部材における界面接合強度の評価はほとんど行われていない。本研究は、アルミニウム合金 I/F 材の上に Al–10Si–0.3Mg 合金を積層造

形し、その接合強度を評価する。ここで、Al–10Si–0.3Mg 合金は、積層造形後に焼なまし処理をしなければ衝撃吸収特性を発揮できない⁴⁾。焼なまし処理によりケイ素粒子を球状化・粗大化させ⁷⁾、延性を増加させるためである。高強度の熱処理型アルミニウム合金の場合、焼なまし処理による強度の低下が著しい⁸⁾ため、アルミニウム合金中でも焼なましに伴う強度低下の少ない非熱処理型の A5083 アルミニウム合金を I/F 材に選択する。

2. 実験方法

(株)コイワイにて、市販の A5083 アルミニウム合金丸棒 (O 材) の上に Al–10Si–0.3Mg 合金を積層造形した。PBF 装置として EOS M280 レーザ積層造形装置を用い、積層条件をレーザ出力 370 W、走査速度 1300 mm/s、スポット径 0.1 mm とした。完成した丸棒の寸法は $\phi 12 \text{ mm} \times 130 \text{ mm}$ であり、下半分が A5083 アルミニウム合金、上半分が Al–10Si–0.3Mg 合金である。比較のために Al–10Si–0.3Mg 合金のみで同形状の丸棒材を積層造形した。

丸棒材から、接合界面が平行部の中心になるように平行部直径 6 mm、平行部長さ 34 mm、肩部の半径 15 mm の丸棒引張試験片を機械加工した。後熱処理はアズワン (株)製小型電気炉を用い、大気中、803 K で 2 h 保持した後、炉冷した。日本電子 (株)製走査型顕微鏡 (SEM, JSM-6510A) を用いて接合界面

¹ 首都大学東京大学院システムデザイン研究科航空宇宙システム工学域 (〒191-0065 東京都日野市旭が丘 6-6) Department of Aeronautics and Astronautics, Graduate School of Systems Design, Tokyo Metropolitan University (6-6 Asahigaoka, Hino-shi, Tokyo 191-0065)

* 責任著者 E-mail: kitazono@tmu.ac.jp

を観察した。付属の電子線後方散乱測定装置 (EBSD) およびエネルギー分散型X線分析装置 (EDS) を用い、加速電圧 15kV で結晶方位解析および組成分析を行った。

(株)島津製作所製万能試験機 (AUTOGRAPH, AG-50kNID) を用いて室温で引張試験を行った。クロスヘッド速度は、1 mm/min とした。

3. 実験結果および考察

接合界面近傍の SEM 写真を Fig. 1(a), (b) に示す。各写真の左側が A5083 合金、右側が Al-10Si-0.3Mg 合金である。一部、研磨によるポイドが母材領域に観察されたが、接合界面 (破線部分) 近傍では接合不良や亀裂は観察されなかった。SEM/EBSD による IPF 図を Fig. 1(c), (d) に示す。レーザの

照射により、Al-10Si-0.3Mg 合金粉末だけでなく界面近傍の A5083 合金も溶融したことがわかった。また、後熱処理により全体的に結晶粒の粗大化が生じていた。

SEM/EDS による Mg 濃度の線分析結果を Fig. 2 に示す。後熱処理により、Mg 原子が高濃度の A5083 合金側から低濃度の Al-10Si-0.3Mg 合金側へ拡散したことが確認された。以上の

Fig. 2 Result of SEM/EDS analysis at the bonding interface. Mg atoms diffused from A5083 alloy region to Al-10Si-0.3Mg alloy region.

Fig. 1 SEM micrographs of (a) as-built and (b) post heat treated specimens. SEM/EBSD inverse pole figure maps of (c) as-built and (d) post heat treated specimens.

Fig. 3 Tensile test specimens after fracture. (a) As-built and (b) post heat treated specimens. (c) Tensile stress-strain curves of as-built and post heat treated A5083/Al-10Si-0.3Mg specimens. Results of PBF Al-10Si-0.3Mg alloys are plotted for comparison.

結果より、微細組織レベルでA5083合金とAl-10Si-0.3Mg合金の異種アルミニウム合金が接合されていることがわかった。

引張試験結果をFig. 3に示す。積層造形まま材 [Fig. 3(a)] はA5083合金部分、後熱処理材 [Fig. 3(b)] はAl-10Si-0.3Mg合金部分で破断し、接合界面では破断しなかった。どちらの破断面にも延性破壊の証拠となるディンプルが観察された。積層造形まま材の引張強さは359MPaであり、A5083-Oの引張強さ322MPaとほぼ一致していた。また、後熱処理材の引張強さは138MPaであり、Al-10Si-0.3Mg合金の引張強さとほぼ一致した。以上の結果より、積層造形により異種アルミニウム合金の良好な接合が達成されたことがわかった。

後熱処理されたAl-10Si-0.3Mg合金積層造形材を衝撃吸収部材として使用する場合、積層造形部が塑性変形しても接合部分は健全であることが確認された。したがって、A5083合金をI/F部材として利用した衝撃吸収機構が工業的に有効であることがわかった。

4. 結 言

Al-10Si-0.3Mg合金とA5083アルミニウム合金における異種アルミニウム合金接合特性を調べた。バルクのA5083アルミニウム合金を基材として、その上にAl-10Si-0.3Mg合金をPBF法によりレーザ積層造形した。引張試験により、積層造形まま材は、A5083アルミニウム合金部分で破断し、良好な接合が達成されたことが確認された。また、813K, 2hの焼なまし後の引張試験では、Al-10Si-0.3Mg合金部分で破断し、後熱処理後も良好な接合強度を保った。さらに、接合界面近傍のSEM/EDS解析により、積層造形の際にA5083ア

ルミニウム合金の一部溶融とMg原子がA5083アルミニウム合金（高濃度）側からAl-10Si-0.3Mg合金（低濃度）側へ拡散したことを明らかにした。定量的な接合強度の導出には、ラップシエア試験等によるさらなる解析が必要であるが、本研究において、PBF法は異種アルミニウム合金の接合に応用可能であることが明らかとなった。またA5083アルミニウム合金は、高温熱処理後の特性低下が少ないため、積層造形および接合後に後熱処理を実施する場合、Al-10Si-0.3Mg合金とは、相性のよい組み合わせであることがわかった。

本研究の一部は、公益財団法人軽金属奨学会の課題研究および宇宙航空研究開発機構のSLIMプロジェクトの協力により実施された。

参 考 文 献

- 1) 中本貴之, 木村貴広, 白川信彦: 計測と制御, **54** (2015), 392–398, 10.11499/sicejl.54.392.
- 2) T. Kimura and T. Nakamoto: Mater. Des., **89** (2016), 1294–1301, 10.1016/j.matdes.2015.10.065.
- 3) 澤井秀次郎, 福田盛介, 坂井真一郎, 櫛木賢一, 荒川哲人, 佐藤英一, 富木淳史, 道上啓亮, 河野太郎, 岡崎 峻, 久木田明夫, 宮澤 優, 植田聡史, 戸部裕史, 丸 祐介, 下地治彦, 清水康弘, 芝崎裕介, 島田貞憲, 横井貴弘, 藪下 剛, 佐藤賢一郎, 中村和行, 久原隆博, 高見剛史, 田中伸彦, 古川克己: 航空宇宙技術, **17** (2018), 35–43, 10.2322/astj.JSASS-D-16-00050.
- 4) 北薮幸一, 多田雷泰, 杉山嘉一, 三浦汀桜子: 航空宇宙技術, **17** (2018), 115–119, 10.2322/astj.JSASS-D-17-00002.
- 5) 今泉重威, 麻野雅三, 奥野 勝: 軽金属, **30** (1980), 736–753, 10.2464/jilm.30.736.
- 6) 北薮幸一: 軽金属, **67** (2017), 559–563, 10.2464/jilm.67.559.
- 7) 安達 充: 軽金属, **37** (1987), 353–358, 10.2464/jilm.37.353.
- 8) 土田 信, 吉田英雄: 軽金属, **39** (1989), 587–606, 10.2464/jilm.39.587.