

金属3Dプリンタ造形物の鋳造接合技術の研究

谷内大世* 鷹合滋樹* 高野昌宏* 吉田勇太*

3D積層造形技術と鋳造技術を複合させた新たなものづくり手法の提案のため、砂型の中に金属3Dプリンタで造形した複雑形状の造形物を配置して熔融金属を流し込み、鋳造接合(一体化接合させる)技術について検討した。金属3Dプリンタ造形物の接合面形状が溶湯金属(アルミニウム合金、銅合金)に対する接合強度に及ぼす影響では、密着力のある接合体を得るためには造形物接合面を酸洗浄し、表面を活性化しておく必要があった。また接合面に凹凸を付けるとアンカー効果が得られ、接合強度が向上した。特に銅合金溶湯では、接合界面に生じる鋳造欠陥が少なく、接合面を高さ3mm以上の剣山形状とした場合では、JISの引張強度規格を超える接合強度が得られた。このことから、3Dプリンタ造形物と鋳造を組み合わせると、積層造形の長所を活かした高付加価値製品の作製への応用が期待できる。

キーワード: 3Dプリンタ, 金属積層造形物, 表面形状, 鋳造, 接合

Study of Joining Technology for Metal 3D Printer Models and Castings

Taisei YACHI, Shigeki TAKAGO, Masahiro TAKANO and Yuta YOSHIDA

The purpose of this study was to develop a new manufacturing method using a combination of metal additive manufacturing technology and casting technology. The casting joining technique (integral bonding) was examined by positioning a complex-shaped model created with a 3D metal printer in a sand mold and pouring molten metal into the sand mold. Due to the influence of the model's surface shape on joint strength with molten metals (aluminum alloy, copper alloy), in order to obtain a jointed body it was necessary to activate the joint surface through acid cleaning. An anchor effect was obtained by making the joint surface uneven, and the joining strength increased. For molten copper alloy in particular, casting defects at the joint interface were minimal, and when joint surfaces were made with 3 mm or taller needle formations, joint strength surpassing the JIS tensile strength standard was obtained. As a result, through the combination of 3D printer models and casting, application to the manufacture of high-value-added products utilizing the strengths of metal additive manufacturing technology can be expected.

Keywords: 3D printer, metal additive manufacturing models, surface shape, casting, joining

1. 緒言

3Dプリンタは、従来の加工方法では困難な複雑形状物を造形できるという利点がある。特に金属を材料とした3Dプリンタは、航空宇宙分野や医療分野などへの適用が進みつつある¹⁾。しかしながら、使用できる材質や造形サイズに制限があることから、その活用は限定的である。近年、3Dプリンタ造形装置の大型化が進み、最大長1000mmの金属造形が可能になってきた²⁾ものの、造形コストが高く、適用できる製品に限られると指摘されている。そこで本研究では、3D積層造形技術と鋳造技術を複合させた新たなモノづくり手法を提案する。これは、鋳造の砂型中に金属3Dプリンタで造

形した複雑造形物を配置して溶けた金属を流し込み、一体化接合を行う簡便な手法である。これにより大型製品の高機能化が可能となり、新たな高付加価値製品の開発への応用が期待される。本報告では、金属3Dプリンタ造形物の接合面形状が溶湯金属との接合強度に及ぼす影響について検討した。

2. 実験方法

2.1 試料の造形

造形試料は金属3Dプリンタ((株)ソディック・OPM-250L)を用いて造形し、材質はマルエージング鋼である。図1に造形試料の外観を示す。造形試料は、接合面を平面としたものに加えて、複雑形状の造形が可能

*機械金属部

である3Dプリンタの特徴を活かして剣山形状および逆テーパ形状の3種類とした。なお、剣山形状においては、試験片高さを20mmに固定し、針高さを1, 3, 5mmの3種類準備した。造形表面の観察には走査電子顕微鏡(日本電子(株)・JSM-7001F)を使用した。

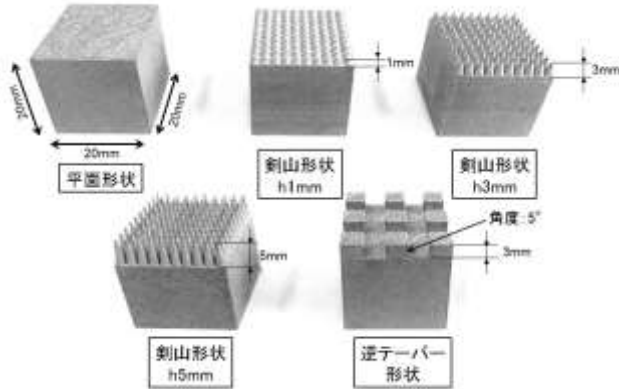


図1 面接合実験に用いた造形試料

2. 2 鋳造接合

図2に接合実験に用いた鋳型の模式図を示す。手始めで作製した生砂型のキャビティ底部に予熱なし(約20℃)の状態で作形試料を設置した。なお、実験に用いた試料は、造形のまま(未処理)と3%塩酸水溶液により酸洗浄して表面を活性化したもの2種類を準備した。溶湯には、アルミニウム合金AC4CHおよび銅合金CAC406を用い、それぞれ740℃および1160℃で溶解後に注湯した。

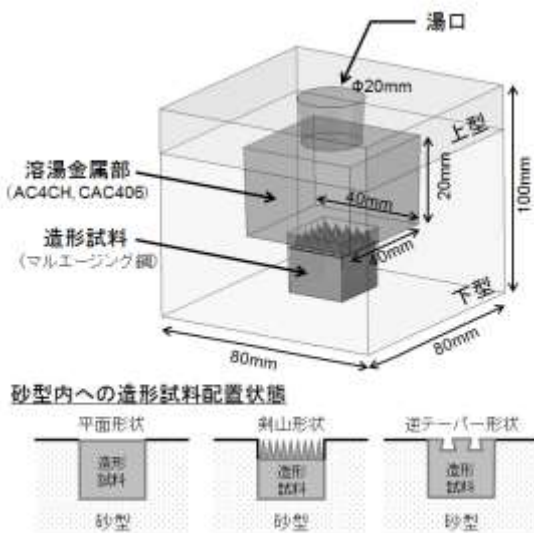


図2 接合実験の模式図

2. 3 接合体の評価

接合実験で得られた接合体は、目視で接合状態を確認

した後、湿式砥石切断機で1/2に切断し、順次#400, #600および#1000で湿式研磨を行い、接合部界面をデジタルカメラ((株)キャノン・EOS-D60,マクロレンズMP-E)および走査電子顕微鏡で観察した。また、接合強度は、機械式精密万能試験機((株)島津製作所・AG-250kNXplus)を用いて評価した。この時の試験片は、接合体を20mm×10mm×40mmに切り出し、両面を湿式研磨して実験に供した。

3. 実験結果および考察

3. 1 造形試料の表面状態

金属3Dプリンタで造形した剣山形状試料の表面を走査電子顕微鏡で観察した二次電子像を図3に示す。レーザーで粉体材料を焼結しながら積層しているため、図中のφ2mm、高さ5mmの針山表面は凹凸が大きい。また、粉体材料の平均粒径は約40μmで、表面には未溶解の粉粒が付着していることがわかる。

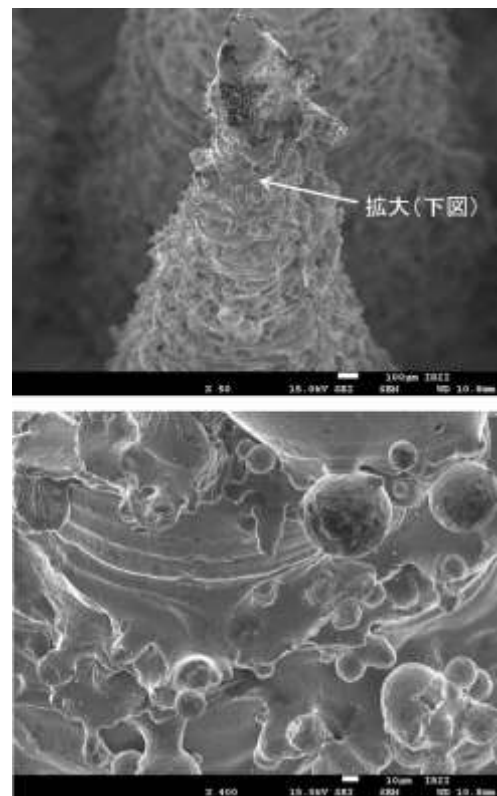


図3 剣山形状造形試料(高さ5mm)の二次電子像

3. 2 接合に及ぼす前処理の影響

図4に接合後の外観写真を示す。接合においては、造形物の表面状態が未処理の場合、造形時の酸化スケールの影響により溶湯が濡れずに接合されなかったが、酸洗浄して表面を活性化することで接合が可能となった。この結果から、良好な接合体を得るには造形物の

酸洗浄が必須であることが明らかになり、全ての試料において酸洗浄を行った。

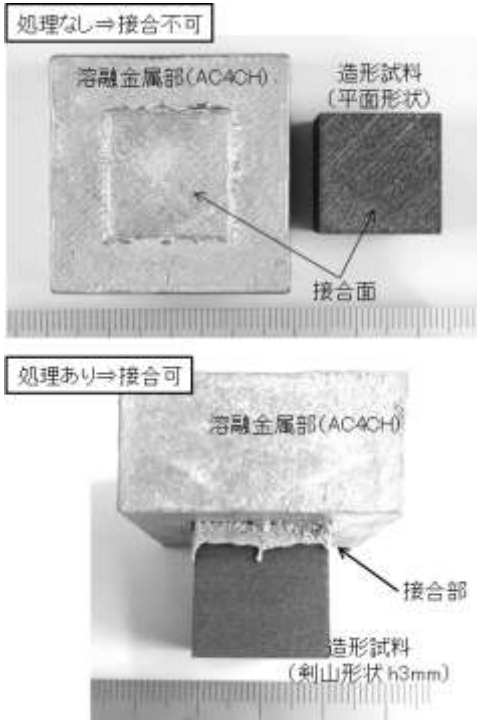


図4 接合体の外観写真

3. 3 接合面形状の影響

3. 3. 1 アルミニウム合金との接合

図5に面接合した試験片における接合界面の観察写真、図6に剣山形状高さ5mmの接合界面拡大像を示す。図5より、平面形状では欠陥が見られず、接合している様子が観察された。次に、3Dプリンタの特徴を活かした剣山形状の場合は、図中の矢印で示すように、谷底部で铸造欠陥が見られた。特に、針高さが高くなるにつれ、铸造欠陥の発生が増加していることがわかる。このことは造形物温度が常温であるため、注がれた溶湯の温度低下が大きく、谷底部まで湯が廻らなかったものと推察される。また、剣山の側面付近を拡大観察した図6では溶湯が造形物と触れた際に湯が弾かれる現象(キライ)が発生していることがわかる。そのため、これらの铸造欠陥の対策としては、造形物を予熱する必要があるが、予熱温度によっては表面に酸化スケールが生成し、接合不良となる恐れがある。また、造形物の大きさに対する溶湯の熱容量の考慮が必要である。

3. 3. 2 銅合金との接合

図7に接合界面全体の断面観察写真を示す。注湯温度がアルミニウム合金よりも約400℃高い銅合金の場

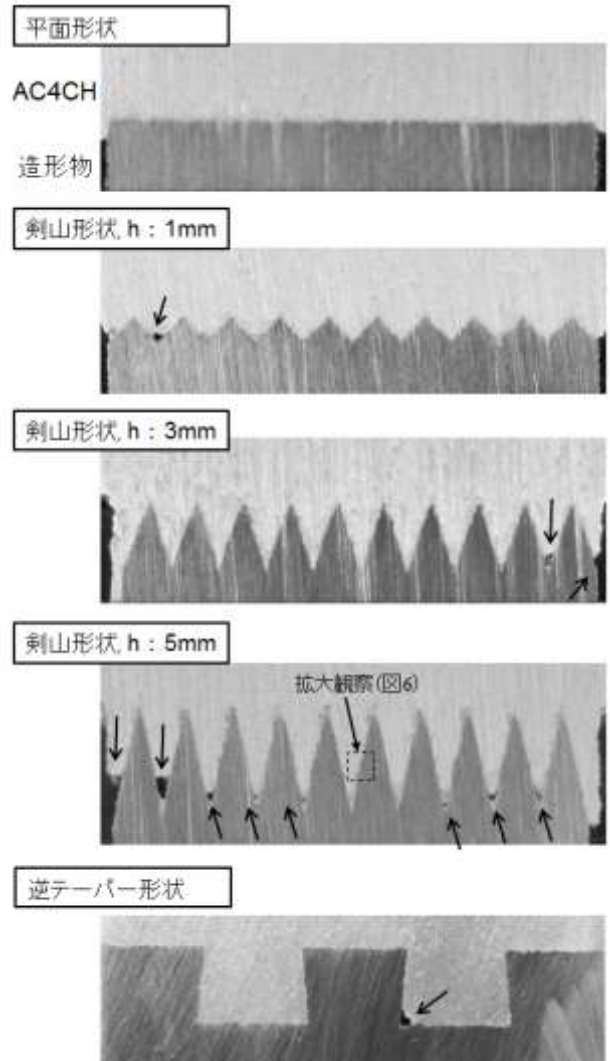


図5 AC4CH-造形試料の接合体界面観察写真

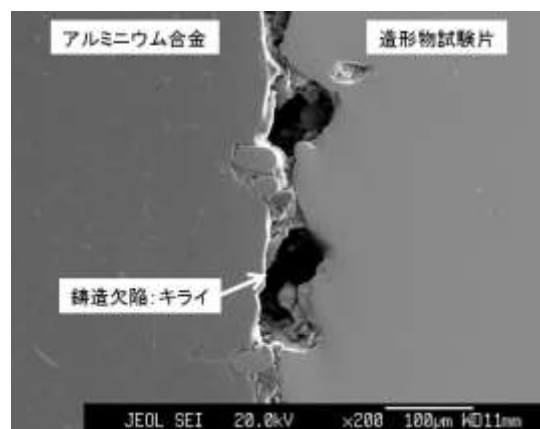


図6 剣山形状高さ5mmの接合界面拡大像

合は、界面に溶湯起因と思われる丸い形状のガス欠陥やわずかなキライが見られるものの、空隙欠陥の少な

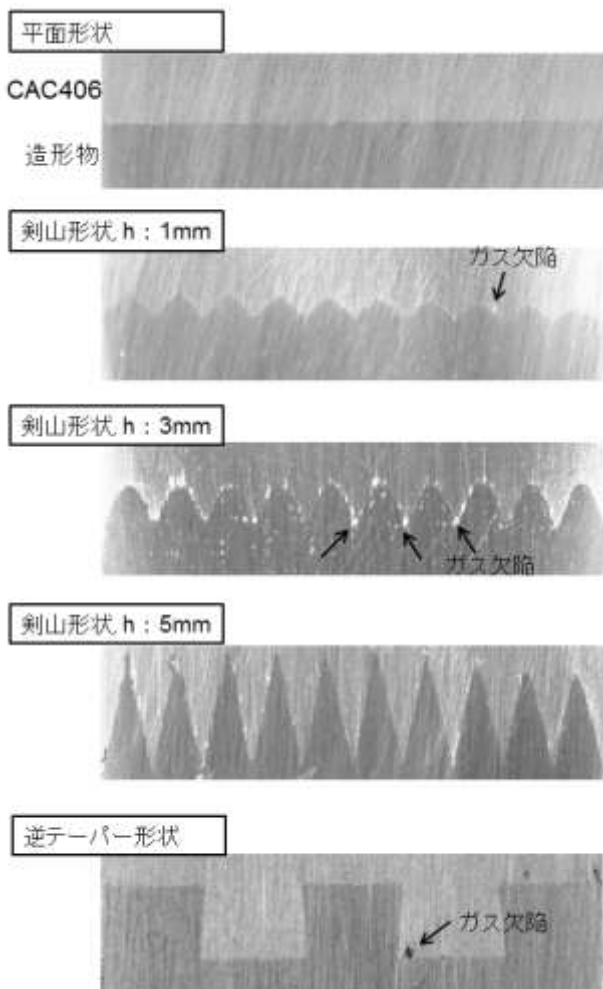


図7 CAC406-造形試料の接合体界面観察写真

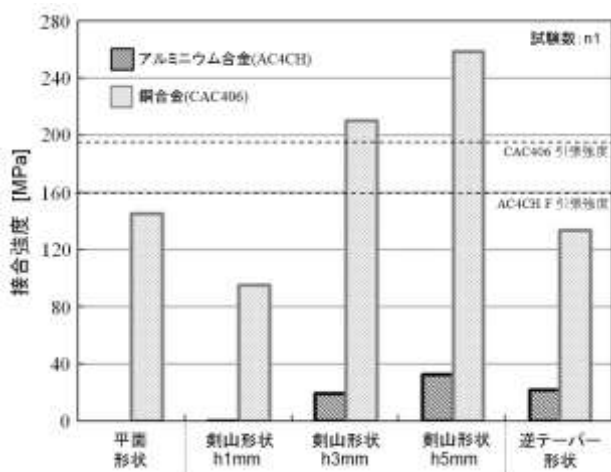


図8 各接合体の強度試験結果

い接合体が得られた。銅合金の溶湯温度が十分に高いことと比熱が大きいいため、造形試料に湯が触れても冷えにくく、谷底部まで湯が廻って、鑄造欠陥が抑制されたものと考えられる。

3. 4 接合強度

各接合体の接合強度を図8に示す。アルミニウム合金との接合体では、平面形状の場合は接合強度がきわめて弱く、試験機に取付ける際に破断した。

また、表面を針山形状や逆テーパ形状にすることで接触面積が増え、接合強度は増加した。しかしながら、接合強度はAC4CH F材の引張強度規格値(160MPa以上)をはるかに下回り、界面で剥離した。

一方、銅合金における接合体は、アルミニウム合金接合体に比べて界面に鑄造欠陥があまり見られなかったことから、接合強度が高かった。剣山形状では、アンカー効果によって機械的に接合しており、針高が高い(接合面積が大きい)ほど接合強度は高く、特に3および5mmの場合には、CAC406の引張強度規格値(195MPa以上)を超える強度が得られた。

4. 結 言

金属3Dプリンタ造形物と溶湯金属との鑄造接合を行い、接合強度に及ぼす造形試料接合面形状の影響について以下の知見を得た。

- (1) 造形物と溶融金属による接合には、造形物を酸洗浄し、接合界面を活性化することが必要である。
- (2) 接合面に剣山等の凹凸を付けることでアンカー効果が得られ、接合強度が向上する。
- (3) 注湯温度が高い銅合金は、低いアルミニウム合金に比べて、空隙欠陥が少なく母材以上の接合強度が得られた。
- (4) 接合には、造形試料側の予熱や造形物の大きさに対する溶湯の熱容量を考慮する必要がある。
- (5) 3Dプリンタ造形物を鑄造接合することは可能であり、積層造形の長所を活かした高付加価値製品への応用が期待できる。

謝 辞

本研究を遂行するに当たり、接合実験にご協力頂いた谷田合金(株)、(株)羽田合金に感謝致します。

参考文献

- 1) 桐原慎也. 新たなものづくり3Dプリンタ活用最前線. 新日本印刷(株), 2015, 296p.
- 2) 技術研究組合次世代3D積層造形技術総合開発機構 (TRAFAM)web.“研究開発内容”.
<https://trafam.or.jp/top/about/developmentcontent/>