

# タングステンを用いたアルミダイキャスト金型補修のための基礎研究

製品・機能評価課 関口啓介\*1 機械電子研究所 清水孝晃 デジタルものづくり課 山本貴文

## 1. 緒言

自動車産業では更なる燃費性能・軽量化等の要求から、構成部材として低比重のアルミ合金を採用することが主流となっている。駆動系や車体部品を始め、多くのアルミ合金製部品は金型を使用したダイキャスト鋳造法により製造される。ダイキャスト鋳造法は生産性や寸法精度に優れており、自動車産業を支える要の生産技術である。近年はアルミダイキャスト品の高強度化や高サイクル生産化の対応に伴い、金型摩耗や溶損発生に対応する技術開発が必要とされている。通常、金型補修メーカーは欠損した金型に対し、主にマルエージング鋼等の溶接棒により肉盛溶接・切削加工する手法を用いる。しかし、補修した箇所の金属成分とアルミ合金溶湯の間で金属間化合物の生成反応が進行するため、補修金属の溶損が発生し、結果として補修部の耐溶損性が低く留まる。従って、ダイキャスト金型の高寿命化には、適切な金属種の選択が必要となる。

本研究では耐アルミ浸食性に優れたタングステン(W)に着目した。高融点金属に分類される W は、アルミ合金の融点の約 660°C で金属間化合物を生成しない耐アルミ浸食性に優れた金属である。ダイキャスト金型補修向け材料への可能性を検討するため、レーザ積層タイプの金属 3D プリンタにより金型補修を模擬した基礎実験を行った。これまでの実験で、金型側素材に種々の金属材料を基材として W 造形を行った。結果、表面被覆部と基材の境界付近に欠陥(クラックや気孔等)が集中して発生することが確認された。本報告書では表面被覆部/基材の境界近傍で生じる欠陥発生メカニズムについて調査・考察した。

## 2. 実験方法

造形には、ドイツ EOS 社製 EOSINT-M280(図 1)を用いた。造形装置に搭載されている Yb-レーザの最大出力は 400W であり、スポット径は約 0.1mm、波長は 1070nm である。供試材料粉末 W(アライドマテリアル社製)は、W 酸化物の水素還元により精製された平均粒径 17 $\mu$ m の多角形状粒子である。

純 W の造形には、高密度化が可能なレーザ照射条件(出力、走査速度、走査ピッチ、積層厚)を用い、アルゴン雰囲気中(酸素濃度:0.1%以下)で積層を実施した。基材には (a)SKD61(熱処理無)、(b)SKD61(熱処理無)、(c)SUS304 を用いた。この上に直径 10mm で高さ約 1mm(積層 50 回相当)の円柱形状を造形し、表面被覆部とした。

W 造形体被覆部/基材の状態調査は、積層面に対して鉛直断面を対象とした。断面試料調整として機械研磨を行い最終仕上げは 1 $\mu$ m バフとした。断面の欠陥観察には走査型電子顕微鏡(SEM, 日本電子製)を用い、付属のエネルギー分散型 X 線分光器(オックスフォード・インストゥルメンツ製)により成分分析を行った。W 部の金属組織の腐食には、村上試薬(水酸化カリウム:フェリシアンカリウム:水=1:1:20)を用いた。機械的特性の評価指標にはビッカース硬さを用いた。表面被覆部である W 表層を起点に、基材に向かって 0.05, 0.1, 0.2, (以降 0.1mm ピッチ)間隔で硬さ測定した。硬さ試験機にはミットヨ製マイクロビッカース硬さ試験機(HM220)を用い、試験力は 0.98N とした。



図 1 EOS 社製 EOSINT-M280

## 3. 実験結果および考察

図 2 に SKD61 (熱処理無) を基材とした W 被覆部周辺の SEM 像を示した。被覆部である W 部では積層方向に沿った方向にクラックが発生しており、これらが結晶粒界で生じていることが確認された。また、基材との界面近傍では 10~100 $\mu$ m 程度の気孔が確認された。図 3 に各材料を基材とした場合の W 被覆部の SEM 像を示した。SKD61 の熱処理の有無に関しては、界面近傍の状態に差異は無く、SUS304 でも同様に気孔が観察された。この結果より基材の合金成分が欠陥発生に対して顕著な影響を及ぼさないことが分かった。

図 4 に SKD61 (熱処理無) を基材とした場合のマイクロビッカース硬さ試験結果を W 質量濃度分布と併せて示した。W 質量濃度が 100%に達した被覆部表層から深さ 0~0.6mm における硬さは最大 460HV0.1、最小 240HV0.1 の硬さを示した。硬さのばらつきは脆弱な結晶粒界もしくはクラックに起因するものと考えられる。一方で、気孔が集中的に発生した深さ 0.8~1.2mm の間では硬さが最大 1130HV0.1 を示した。この時のタングステン質量濃度は約 40wt%前後であった。これは、レーザ照射時に W が溶融する過程で、SKD61 中の Fe 成分と金属間化合物が形成されたためと推察される。

\*1 現 商工企画課

これらの調査結果を踏まえて、W 表面被覆部/基材の界面近傍における気孔発生は、W-Fe 金属間化合物が関係している可能性が考えられる。異種材接合では溶融プロセスを伴う場合、両素材の熱膨張係数が重要とされる。W と Fe の熱膨張係数はそれぞれ  $4.3 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ 、 $11.7 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$  であり約 3 倍の差がある。この熱膨張係数差によりレーザー照射加熱時に歪を発生させる要因となると考えられる。発生した歪が脆性的な金属間化合物層に作用することでクラックを生じさせる。続いて、クラックが熱抵抗となり生じた局所的な温度上昇範囲では鉄の沸点である約  $2800^{\circ}\text{C}$  に達して Fe の気化（蒸発）が発生する。以上が W 被覆時の気孔発生メカニズムであると考えられる。

#### 4. 結言

アルミダイカスト金型補修材への適用を目的として、純タングステン(W)を用いた金属 3D プリンティングで金型基材上に被覆を施す模擬実験を実施した。表面被覆部/基材界面には欠陥（クラック、気孔）が集中的に発生しており、W の溶融過程に生じる W-Fe 金属間化合物に歪が作用することがクラック発生要因となり、次いでクラック発生部周辺領域が Fe 沸点以上に達することで蒸発し気孔が生じる可能性があることを確認した。

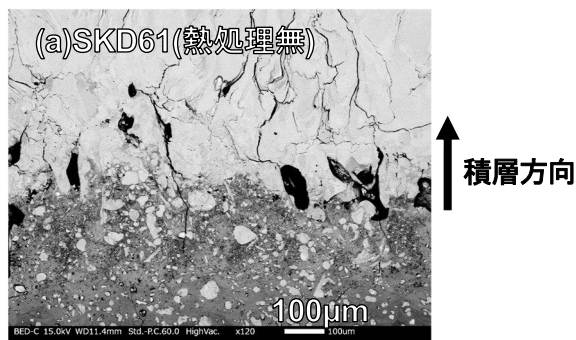


図2 欠陥部拡大（深さ 0.8~1.2mm 範囲）

キーワード：金属 3D プリンティング、Additive manufacturing、純タングステン、ダイカスト金型

### Basic Research of Repairing Aluminum Die Casting Mold using Tungsten

Product and Function Evaluating Section; Keisuke SEKIGUCHI<sup>\*1</sup>, Mechanics and Electronics Research Institute Mechanics and Digital Engineering Section; Takaaki SHIMIZU, Digital Manufacturing Section; Takafumi YAMAMOTO

In study, the microstructure and mechanical properties of the model formed by metal 3D printing using pure tungsten were investigated. Apply on various aluminum casting mold base materials (SKD61, SUS304). As metal cross-section observation result, many cracks and cavities were confirmed at boundary of the molded body and the base material. It was considered that tungsten and iron intermetallic compound were occurred during 3D printing process. Cracks occurred by strain acting in the intermetallic compound with vulnerable properties.

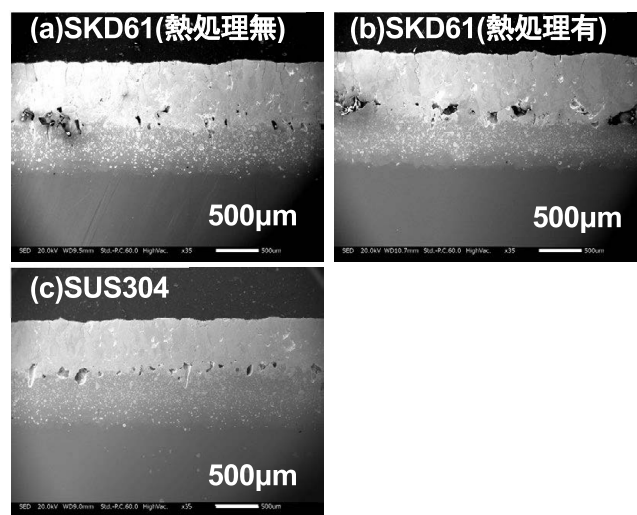


図3 タングステン造形体断面図（鉛直方向）

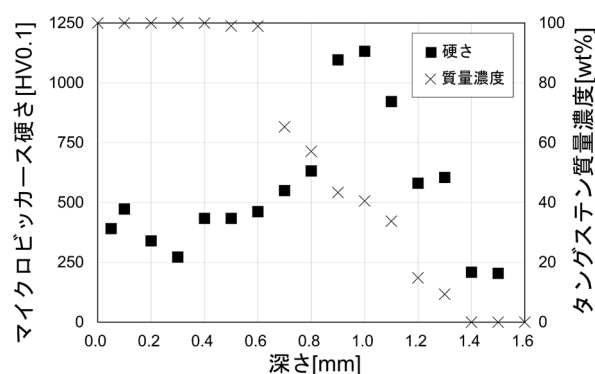


図4 硬度試験結果および質量濃度測定分布 (a)SKD61 (熱処理無)

#### 参考文献

- 1)山本 他, 富山県産業技術研究開発センター研究報告, No.33(2019) pp.20-21
- 2)関口 他, 富山県産業技術研究開発センター研究報告, No.34(2020)pp.35-36