

アルミニウム合金積層造形物の緻密化や化学成分に造形雰囲気を与える影響

材料科 望月智文 植松俊明 田光伸也 木野浩成*
機械電子科 大澤洋文

Effect of atmospheric gases on the densification and chemical composition of aluminum alloy fabricated by L-PBF additive manufacturing

MOCHIZUKI Tomofumi, UEMATSU Toshiaki, TAKO Shinya,
KINO Hironari and OOSAWA Hirofumi

Keywords: metal 3d printer, aluminium alloy, nitrogen gas, relative density, nitriding

金属 3D プリントによる金属粉末レーザー積層造形は、造形物の酸化等を防止するため不活性ガス雰囲気中で行われる。本研究では、安価な窒素ガス下でアルミニウム合金粉末を用いたレーザー粉末床溶融結合 (Laser powder bed fusion : L-PBF) 方式の金属 3D プリントによる造形を行い、造形物の相対密度や窒素含有量を評価した。その結果、アルゴン又は窒素ガスのいずれを用いても、エネルギー密度が 35~50 J/mm³ で高密度を有する造形物を得ることができ、造形物は窒化しないことが明らかとなった。

キーワード : 金属 3D プリント、アルミニウム合金、窒素ガス、相対密度、窒化

1 はじめに

金属 3D プリントによる金属粉末レーザー積層造形を用いたものづくりは、切削や鋳造等の従来の加工法では成し得ない複雑形状の構造物を製造することが可能であり、注目を集めている。一方、金属 3D プリントの普及拡大のためには、「材料と造形コストが高い」という課題を解決する必要がある。造形コストを高くする要因の一つは、造形物の酸化等を防止するために使用するガスのコストである。通常、造形雰囲気には、高価なアルゴンを用いる。造形コスト削減のため安価な窒素ガスに代替することも考えられるが、造形物表面が窒化してしまう懸念がある。しかし、アルミニウム粉末は、窒素雰囲気中で加熱した場合、窒化反応より先に融解・凝集するため窒素の浸透反応速度が低下し窒化しないといわれている¹⁾。そこで本研究では、アルミニウム合金粉末を対象に造形雰囲気をアルゴンの代替として窒素ガスを用いた際の造形物及び造形パラメータへの影響を検証した。

2 方法

2.1 造形条件

AlSi10Mg 合金粉末 (LPW Technology 製) を原料に、レーザー粉末床溶融結合 (Laser powder bed fusion : L-PBF) 方式の金属 3D プリント SLM280 (Nikon SLM Solutions AG 製) を用いて一辺が 10 mm の立方体を造形し試料とした。造形パラメータは、表 1 に示すとおりとした。雰囲気を用いたガスの純度は、アルゴンが 99.99 %、窒素ガスが 99.999 % であった。試料は、ベースプレートからのコンタミネーションを防止するため、高さ 4.0 mm のサポート部を設け、その上に造形した。

表1 造形パラメータ

造形パラメータ	設定値又は計算値
レーザー出力 P (W)	500~670
レーザー走査速度 v (mm/s)	950~2,150
レーザー走査間隔 w (mm)	0.17
積層厚さ h (mm)	0.06
エネルギー密度 E^* (J/mm ³)	22.8~69.1
予備加熱温度 (°C)	150
造形雰囲気	アルゴン又は窒素ガス

※エネルギー密度計算式: $E = P / (v \cdot w \cdot h)$

* 現 繊維高分子材料科

2.2 評価方法

造形雰囲気ガスの影響を調べるために、試料の相対密度と窒素含有量を評価した。相対密度は、試料の中央部を切り出し、樹脂に包埋後、鏡面研磨し、金属顕微鏡 M200（ニコン株）及び画像解析ソフト Quick Grain Pad+（株イノテック）を用いて3視野の平均値から算出した。金属組織は、鏡面研磨後の試料をケラー氏液により腐食し、金属顕微鏡 M200（ニコン株）で観察した。窒素含有量は、試料の中央部を酸素窒素水素分析装置 EMGA-830（株堀場製作所）により測定した。

3 結果および考察

相対密度の、造形雰囲気による変化はなく、エネルギー密度 35~50 J/mm³ で相対密度が 99.5 %以上となり、そのエネルギー密度帯から外れるほど相対密度は低下する傾向が認められた（図1）。

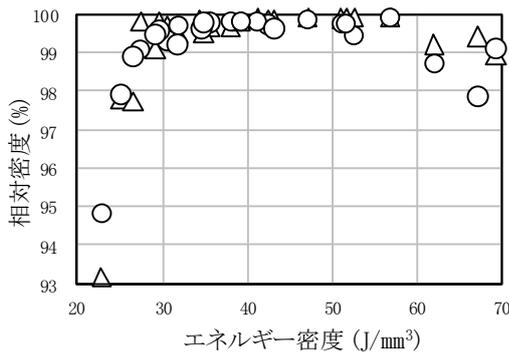


図1 試料のエネルギー密度と相対密度の関係

△:アルゴン雰囲気で造形した試料

○:窒素ガス雰囲気で造形した試料

図2に試料の垂直断面（積層方向に対して平行な面）の金属組織を示す。全ての試料で、鱗状の熔融池痕を確認した。このような金属組織となったのは、熔融池底部で析出した α -Al相（白色部）並びに、レーザ照射点に向かって成長した α -Al相及びそれを囲むSiとの共晶組織（灰色や褐色部）が現出した結果と考えられる。内部欠陥に注目すると、低エネルギー密度（23 J/mm³）試料では熔融池痕境界部の非球形の未熔融欠陥が、高エネルギー密度（69 J/mm³）試料では熔融池痕底部の球形のキーホール型欠陥が確認できた。エネルギー密度が35~50 J/mm³の試料では、内部欠陥の少ない高密度体が得られた。以上より、現出した結晶の構成及び内部欠

陥の性状が同じであることから、全てのエネルギー密度帯において造形雰囲気による金属組織の差は見られないことが分かった。

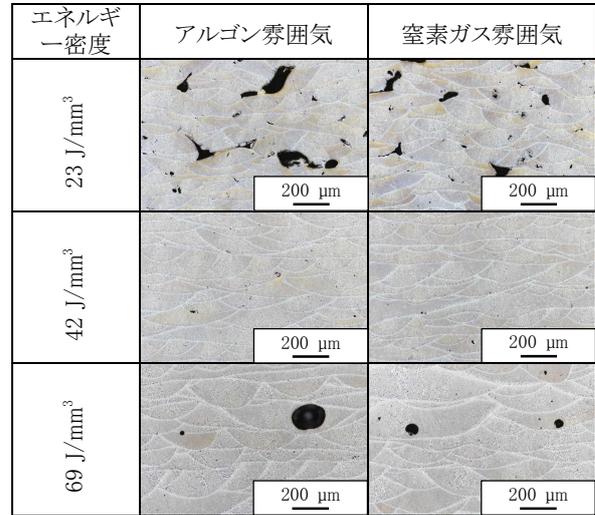


図2 試料の金属組織(垂直断面)

相対密度が低い試料では、内部欠陥内に存在する雰囲気ガスの影響が大きいと考え、窒素含有量の評価は、高相対密度の試料で行った。アルゴン雰囲気、窒素ガス雰囲気で造形した試料の窒素含有量は、それぞれ 1.5 ppm、0.9 ppm とほぼ同等であり、造形雰囲気の影響は認められなかった。窒素ガス雰囲気での造形であっても試料の窒素含有量は十分に低かった理由は、L-PBF法における急熱急冷過程で原料が塊状に凝集し、窒素の浸透反応速度が低下したためと推察される。

4 まとめ

アルミニウム合金粉末の積層造形を対象に造形雰囲気をアルゴンから窒素ガスに変更した際の影響を検証した。その結果、99.5%以上の高い相対密度が得られるエネルギー密度は、アルゴン又は窒素ガスのいずれを用いても 35~50 J/mm³ で一致し、窒素ガス雰囲気での造形であっても試料の窒素含有量は 0.9 ppm と造形物は窒化しなかった。以上より、造形雰囲気を窒素ガスに変更しても造形パラメータ及び造形物に影響を及ぼさないことが確認された。

参考文献

- 1) 松尾重友:窒化アルミニウム. 真空, 9, 183-189 (1966).