

レーザー積層造形による金属間化合物分散型アルミ系材料の開発

デジタルものづくり課 山本貴文、川堰宣隆

1. 緒言

低比重で熱伝導率に優れるアルミニウム(Al)合金のレーザー積層造形技術(Laser powder bed fusion: LPBF)は、新たな軽量化部材の創出や熱制御部材(ヒートシンク、熱交換器)への応用が期待されている。LPBFのAl素材に着目すると、工業的に利用可能なAl系材料はAlSi10MgやA357のような高Si材のみに留まる。Al系材料を用いたLPBF技術のさらなる普及に向けては、適用素材の制約を克服するための材料開発が重要であり、目的の熱・機械的特性を備えたAl系材料が利用できることが望ましい。

本研究では、LPBFで製造するAl系造形体の熱・機械的特性の制御を目的として、任意のAl粉末に第2相となる金属元素を添加する粉末調整手法(即ち、混合粉末化)の適用性を評価した。同手法は、母粉末と添加物を目的組成となるように配合するため、組成や熱機械特性を簡単に調整できる特徴を有する。前報¹⁾では、純Alと純Crの混合粉末からAl-Cr造形体を作製し、Cr濃度が10mass%までの組成域にて、相対密度99.7%以上の高密度体が見出された。一方、AlとCrの合金化反応に伴う組織形態の変化を観測したものの、熔融に至らなかったと推測されるCr粒子が残留するという課題も生じた。本稿では、Al-Cr造形体の組織解析と組成分析の結果、ならびに機械的特性を評価した結果を報告する。

2. 実験方法

原料粉末は、前報¹⁾に記載の純Al粉末(東洋アルミニウム社製、A1070-30A)と純Cr粉末(JFEマテリアル社製(現: JFEミネラル))である。これらの粉末を目標組成となるように秤量し、ボトル容器内に入れて手でミキシングした。混合粉末の目標組成は、Al-1%Cr、Al-3%Cr、Al-5%Cr、Al-10%Crの4種である。これを造形材料として直径10mm、高さ5mmの円柱試験体を作製した。LPBF装置には、独EOS社製のEOSINT M280を用いた。レーザー照射条件は、前報¹⁾の実験結果に基づき、高密度化が達成される条件(レーザー出力: 370W、走査速度: 1600mm/s、走査ピッチ: 0.10mm、積層厚: 0.30mm)を選択した。得られた造形体の断面試験体を調整し、機械研磨で鏡面に仕上げ、電子線マイクロアナライザー(EPMA)の観察試験体とした。機械的特性を評価するために、引張試験を実施した。引張試験時の応力方向が積層方向と鉛直関係となるように、LPBF装置で作製した12mm×50mm×H15

mmのブロックから、全長46mm、平行部11mm×3mm、厚み2mmの小型試験片を切り出した。試験機には万能試験機(島津製作所、AG-50KNX)を用い、室温にて試験速度1mm/minの条件下で試験を実施した。

3. 実験結果

Fig.1に、EPMAより取得した各試料の反射電子像を示す。図中では、白色の箇所がCr濃度が高い箇所に対応する。断面中には、鱗のような半円形状の組織形態が認められたが、これはレーザー照射に起因するLPBF特有の組織である。この組織の外周部では、局所的にCr濃度が高い箇所が認められた。これは、レーザー照射によりCr粉末が熔融に至っているものの、Alマトリックスに対するCr成分の拡散が十分ではなかった様相を示している。また、熔融に至らなかったと思われるCr粉末の残留も認められ、この箇所を定性分析した結果、Cr成分のみが観測された。Cr粉末の残留量は粉末の添加量が増えるほど増加する傾向にあり、Cr粉末の添加によって熱・機械的特性を精緻に制御するには改善が必要である。一方、Al-5%CrとAl-10%Crの造形体では、組織中に粒状の微細な析出物が観測された。

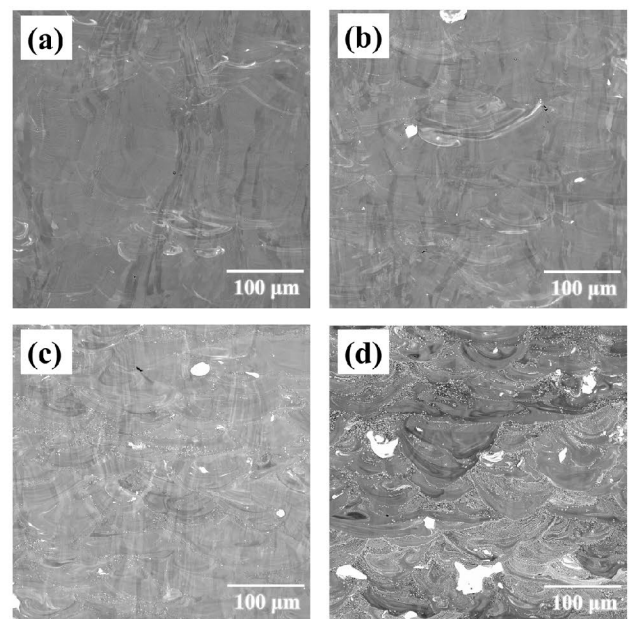


Fig.1 各試料の反射電子像

(a) Al-1%Cr, (b) Al-3%Cr, (c) Al-5%Cr, (d) Al-10%Cr

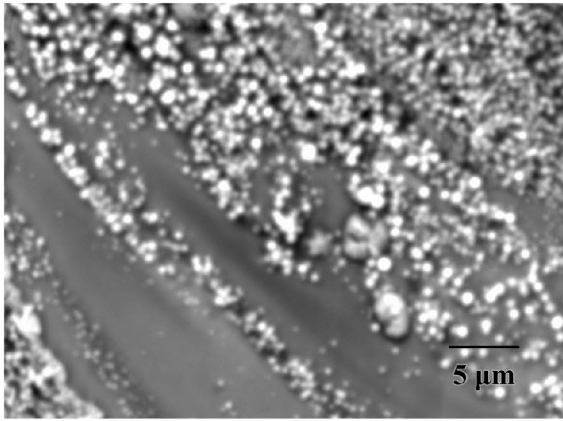


Fig. 2 Al-10%Crのレーザ照射痕近傍の反射電子像

Fig.2は、Al-10%Crのレーザ照射痕近傍を高倍率で撮影した反射電子像である。1 μ m以下の極めて小さな球状粒子がAlマトリックス中に微細分散していることが分かる。同視野のマッピング分析を行ったところ、球状粒子からはAl成分とCr成分のシグナルが検出された。さらに、Al-Cr二元系状態図によると、Alに対するCrの固溶限はAlの融点付近(660 $^{\circ}$ C)で0.77%であり、これ以上のCr濃度を含む場合、凝固点以下では高融点の金属間化合物が共存する。したがって、観測された球状粒子はAlとCrから構成される金属間化合物である可能性が高く、これが急冷凝固によって微細分散に至ったものと考えられる。

Fig.3に、引張試験により評価したCr濃度と機械的特性(最大引張強度・0.2%耐力・伸び)の関係を示す。図中には、比較材として、直接溶湯圧延法で作製されたAl-Cr急冷凝固材の機械的特性を併記した²⁾。図の上段に着目すると、最大引張強度と0.2%耐力はCr濃度の増加に伴い単調に増加しており、添加したCrが強化材として機能することが明らかとなった。この結果は、前述した金属間化合物の微細分散による強化も寄与していると推察される。また、直接溶湯圧延法によるAl-Cr急冷凝固材

キーワード：レーザ積層造形、アルミ合金、クロム添加、金属間化合物、分散強化

Development of Intermetallic Compound-dispersed Aluminum-based Material by Laser Additive Manufacturing

Digital Manufacturing Section; Takafumi YAMAMOTO and Noritaka KAWASEGI

The applicability of mixed powders was estimated to control the thermo-mechanical properties of Al-based materials fabricated by LPBF. The microstructure and mechanical properties of the Al-Cr alloys prepared from mixed powders composed of pure Al and pure Cr particles were investigated. EPMA analysis suggested that the Cr addition caused the precipitation of dispersed fine intermetallic compounds. The ultimate tensile strength, yield strength, and elongation of the Al-Cr alloy (~10mass%Cr) produced by LPBF were revealed to be superior to those previously reported.

と比較すると、いずれのCr濃度においてもLPBF材の方が最大引張強度と0.2%耐力が高かった。伸びは、Cr濃度の増加に伴い減少する傾向を示すものの、残留Cr粒子による伸びの劇的な低下は認められなかった。Al-Cr急冷凝固材にてほとんど伸びが観測されなかった原因は定かではないが、LPBF材では伸び特性も良好であることが分かった。上述のように、LPBF材では優れた機械的特性を示す結果が得られた。これにはCr添加による金属間化合物の形成に加え、急冷凝固による結晶粒の微細化効果も寄与していると推察される。

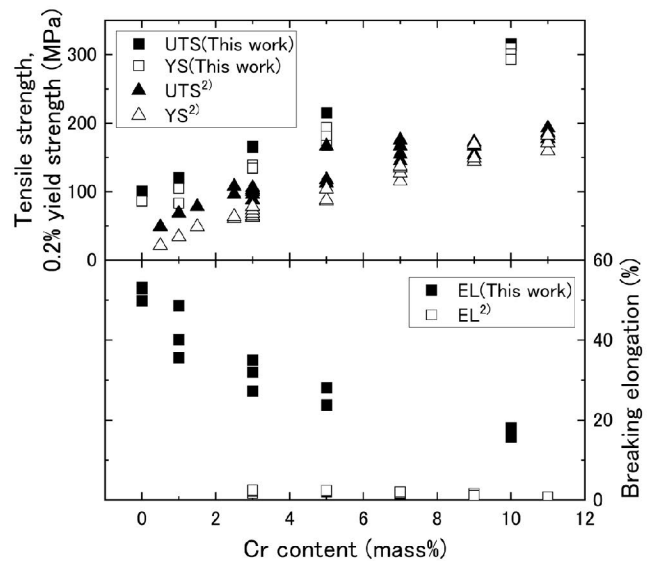


Fig. 3 Cr濃度と最大引張強度・0.2%耐力・伸びの関係

参考文献

- 1) 山本貴文 他: 富山県産業技術研究開発センター研究報告, 37(2023) 17-18.
- 2) 大橋照男, 市川理衛: 名古屋工業大學學報, 28(1977) 211-219.