

# 金属 AM 造形材の熱処理条件が金属組織に及ぼす影響

東京電機大学 ○野原 みさと, ◎酒井 康徳

SLS (Selective Laser Sintering) は、微細な複雑形状部品を実現できる金属 AM 技術として注目されている。しかし、積層による入熱履歴や溶融再凝固時に生じる空隙の存在により、後工程で熱処理する際に従来材料に対する条件が適用できず、処理むらが生じる場合が多い。そこで本研究では、熱処理条件が SLS 造形材の金属組織に及ぼす影響を実験的に検討し、空隙近傍とそれ以外の部分では金属組織に差異が見られ、含まれる元素成分の比率も異なっていることを明らかにした。

## 1. 緒言

近年、金属材料を用いた付加製造技術 (AM 技術) が注目されており、様々な用途で活用され始めている。しかし、金属粉末を溶融再凝固させて形状を創成するため、造形した部品の材料内部には結晶組織の不均一さや空隙が発生してしまう。

一般に、金属部品は焼き入れや時効硬化処理などの熱処理工程による金属組織改質によって、所望の機械的性質を得る。しかし、AM 技術によって造形された金属部品の場合、組織の不均一さや空隙に起因して、処理むらが生じてしまう。また、従来の圧延された金属材料に対する熱処理条件が必ずしも適用できず、試行錯誤的に熱処理条件を決定しなければならない場合も多い。

従来の研究では、空隙を低減して AM 造形材の高密度化を図る研究<sup>①</sup>や、AM 造形材の機械的性質及び切削性を評価した研究<sup>②</sup>がなされている。しかし、空隙の存在が熱処理後の金属組織に及ぼす影響は十分に解明されておらず、AM 造形材に対する熱処理条件の決定指針が確立されていないのが現状である。

そこで本研究では、SLS 方式で作られたマルエージング鋼造形材を対象として、材料内部に存在する空隙や処理温度の差異が時効硬化処理後の金属組織に及ぼす影響を解明する。

## 2. 実験方法

### 2.1 試験片及び熱処理条件

実験には、SLS 方式の金属積層造形装置で造形されたブロックから切り出した短冊状の板を用いた。ブロックの大きさは縦 70mm、横 70mm、厚さ 50mm であり、試験片の大きさは縦 12mm、横 6mm、厚さ 5mm である。レーザはブロックの一辺に平行となるよう、直線的に往復走査した。材料には、粒径分布が管理された未使用のマルエージング鋼粉末を使用している。

造形後のブロックの上部と下部とでは、造形中に生じた入熱履歴の差異により金属組織に差異が異なっていると予想できる。そこで、図 1 に示すように、ブロックの最低部、中間層、最上部から試験片を切り出し、それぞれの試験片に対して同様の熱処理を行うことで、造形材の金属組織が熱処理後の金属組織に及ぼす影響も検討した。以下では、それぞれ「下層試験片」、「中層試験片」、「上層試験片」と名付けて区別する。

次に、熱処理方法について述べる。時効硬化処理では、溶体化処理及

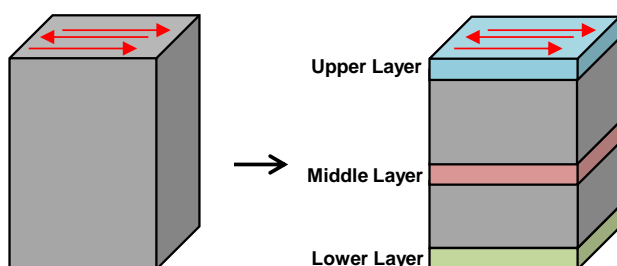


Fig. 1 Specimen for experiment fabricated by SLS

び時効処理における温度と保温時間によって、析出硬化後の金属組織が変化する。本研究では、溶体化処理を一定条件 (870°C で 30 分保温した後、常温まで空冷) で行い、時効処理条件のみを変えた。時効処理温度は 480°C とし、時効処理中の保温時間を 1~5 時間で変化させることで、熱処理条件の差異が金属組織に及ぼす影響を検討した。

## 3. 実験結果および考察

### 3.1 空隙の存在が熱処理後の金属組織に及ぼす影響

まず、熱処理後の金属組織に及ぼす空隙の影響を検討する。図 2 に、熱処理後の中層試験片の SEM 観察画像を示す。時効時間は 5 時間である。図示したように、空隙がない部分は白く、空隙部分は黒くなっている。一方で、空隙近傍に灰色に観察された部分がある。これは、空隙近傍に、異なる元素成分を有する組織が形成されていることを示唆している。そこで、EDS 分析によって、図 2 中の空隙が存在しない部分 (点 1) と存在する部分 (点 2) とでの析出元素の違いを検討した。図 3 に、点 1 および点 2 での EDS 分析結果を示す。図の縦軸は、元素成分の検出強度を意味しており、値が高いほど図中に示した元素成分が多く含まれていることを意味している。図 3 から、空隙近傍とそれ以外とは、構成元素の比率に差異が生じていることが分かる。空隙近傍では、空隙がない部分に比べて、炭素 (C) の含有量が多くなり、鉄 (Fe) の含有量が少ないことがわかる。空隙近傍では、空隙に含まれる空気の影響によ

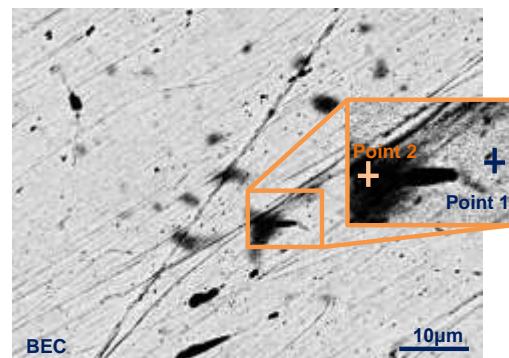


Fig. 2 SEM image of specimen after heat treatment (Aging: 5 hours)

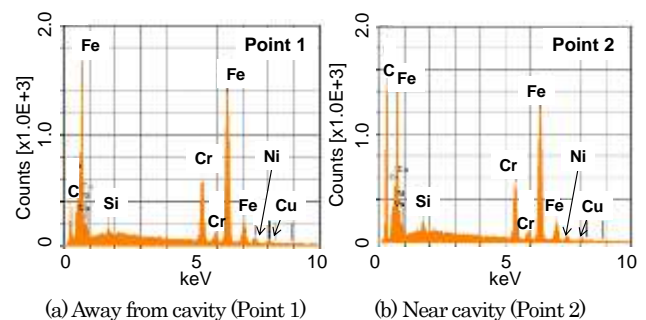
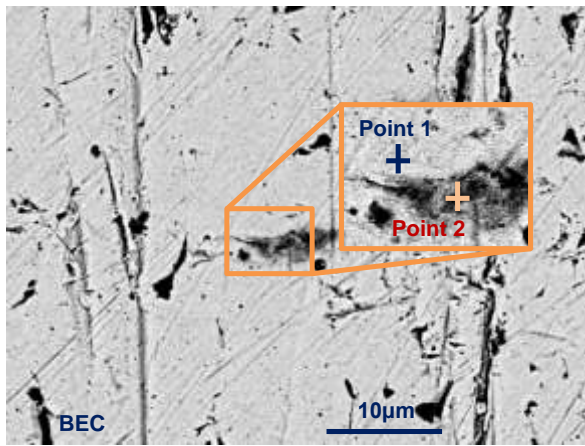
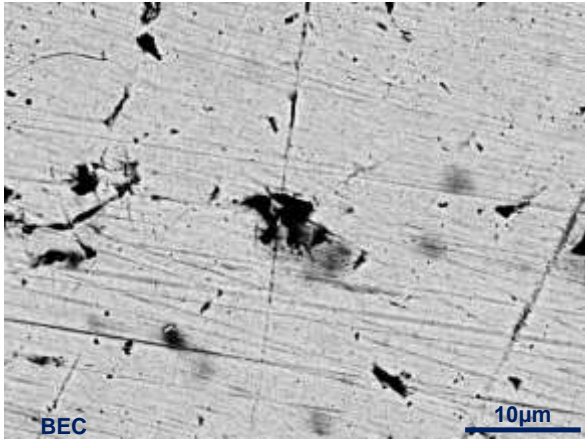


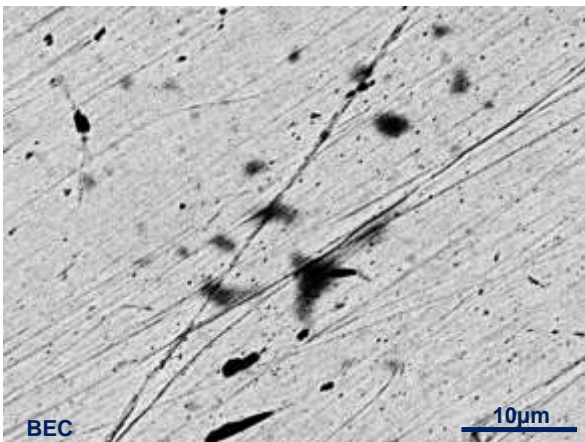
Fig. 3 EDS analysis of Point 1, 2 on SEM image (Fig. 2)



(a) Aged 1 hour



(b) Aged 3 hours



(c) Aged 5 hours

Fig. 4 Influence of aging time on microstructure

り熱伝導率に変化が生じ、炭素の析出量が少なくなったものと考えられる。

### 3.2 時効処理時間が金属組織に及ぼす影響

次に、熱処理条件が金属組織に及ぼす影響を検討する。時効処理時間を、1、3、5時間と変えて熱処理を行い、SEMにより金属組織の観察を行った。図4に金属組織の観察結果を示す。図示したように、SEMの観察結果から、時効時間が長くなると灰色に見える部分がやや増加しており、空隙近傍の組織変化が大きくなっている傾向が分かる。加熱時間が長くなることで、空隙の影響による金属組織の差異が大きく広がったものと考えられる。

次に、時効時間を1時間とした際のSEM画像(図4(a))に示す空隙が存在しない部分(点1)と空隙が存在する部分(点2)における元素成分の違いをEDS分析により検討した。図5にその結果を示す。図3

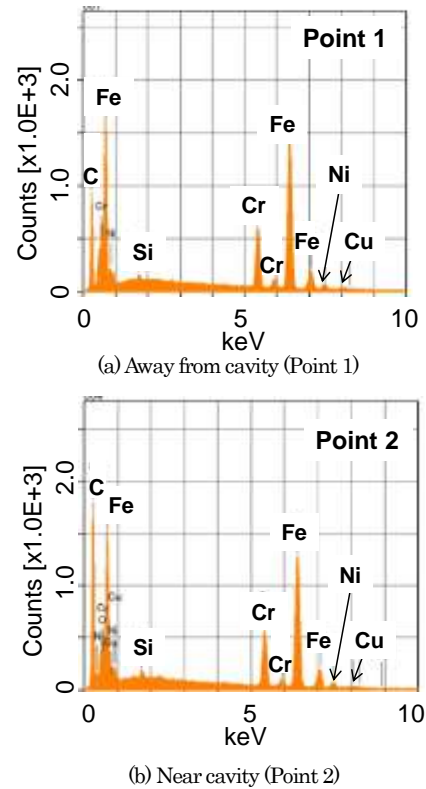


Fig. 5 EDS analysis of Point 1, 2 on SEM image (Fig. 4(a))

に示した時効時間を5時間とした場合と比べると、時効時間を1時間とした場合でも同様の傾向が得られた。つまり、空隙近傍では、空隙がない部分に比べて、炭素(C)の含有量が多くなり、鉄(Fe)の含有量が少なくなっていた。また、図3(a)と図5(a)を比較すると、時効時間が5時間の場合のほうが、空隙がない部分での炭素含有量が少なくなっていることがわかる。また、一方で、空隙近傍の構成成分は時効時間によらずほとんど変化していない。このことから、空隙が存在することにより、金属組織の時効時間に対する感度が鈍化するものと考えられる。

## 4. 結 言

本研究では、SLS方式の金属積層造形機で加工されたマルエージング鋼造形材を対象として、その金属組織に及ぼす時効硬化時間の影響を検討した。その結果、以下の知見を得た。

- (1) 空隙が存在することにより、時効硬化処理後の金属組織の構成成分が不均一になる。
- (2) 空隙近傍では、それ以外の部分に比べて炭素の析出量が多くなった。これは、時効処理中の加熱条件が空隙の存在によって変化したためだと考えられる。
- (3) 時効時間を長くすると金属組織に含まれる炭素量は低下するが、空隙近傍の元素成分構成は時効時間が変化してもほとんど変わらない。

本研究では、熱処理条件が金属組織に及ぼす影響を検討したが、機械的性質やトライボ特性を評価することも、AM材料を応用するうえで重要となる。これらは今後の課題とする。

## 参考文献

- (1) K.Kempen, E.Yasa, L.Thijs, J.-P.Kruth, J.Van Humbeeck, "Microstructure and mechanical properties of Selective Laser Melted 18Ni-300 steel", pp.252-263(2011)
- (2) James Mutua, shinya Nakata, Tetsuhiko Onda, Zhong-Chun Chen, "Optimization of selective laser melting parameters and influence of post heat treatment on microstructure and mechanical properties of maraging steel", pp.486-497(2018)