

積層造形法によるステンレス鋼の内部欠陥にレーザー条件が及ぼす影響

材料科 植松俊明 望月智文 田光伸也 木野浩成*
機械電子科 大澤洋文

Effect of laser conditions on internal defects in the laser powder bed fusion additive manufacturing of stainless steel

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

Keywords: Additive Manufacturing, Internal Defect, Stainless Steel, Laser Condition

樹脂用金型に用いられるマルテンサイト系ステンレス鋼に対し、レーザー粉末床溶融結合法の造形物の内部欠陥の発生に及ぼすレーザーの出力及び走査速度の影響について検討した。造形条件はレーザー出力を 300~600W、走査速度を 600~1,500mm/s、走査間隔を 0.13mm、積層厚さを 0.05mm とした。造形物の相対密度を 99.9%以上にできるレーザー条件であれば、造形物の内部欠陥は 100 μ m 以下に抑制できることを確認した。また、相対密度の向上には、エネルギー密度だけでなく、レーザーの走査速度を考慮しなければならないことが分かった。

キーワード：積層造形、内部欠陥、ステンレス鋼、レーザー条件

1 はじめに

金属 3D プリンタは、内部に水管を自由に配置した金型を造形できることから、近年、金型の加工方法の一つとして注目されている。金属 3D プリンタで金型を造形する場合には、金型の品質を低下させる造形物内部の空隙（欠陥）の発生を抑制することが重要である。

そこで、本研究では樹脂用金型に使用可能なマルテンサイト系ステンレス鋼を用い、レーザー粉末床溶融結合法の造形物の内部欠陥の発生に及ぼすレーザーの出力及び走査速度の影響について検討した。

2 方法

供試粉末は粒子径が 25~53 μ m のプラスチック金型用ステンレス鋼粉末 LTX420（大同特殊鋼株）を用いた。造形にはレーザー粉末床溶融結合法の金属 3D プリンタ SLM280（SLM Solutions Group AG）を使用し、一辺 10mm の立方体を作製した。造形条件は、ベースプレート温度を 150°C、積層厚さ：t を 0.05mm、レーザーの走査間隔：s を 0.13mm とし、レーザー出力：P と走査速度：v は表 1 に示す範囲で変化させた。また、積層 1 層分の単位体積当たりの投入エネル

表1 レーザ出力及び走査速度

条件	低出力	高出力
レーザー出力 P (W)	300、375、450	525、600
走査速度 v (mm/s)	600~900	900~1,500

ギーを、レーザー条件から式（1）に示すエネルギー密度 E（J/mm³）として算出した。

$$E=P/(vst) \quad (1)$$

内部欠陥の評価は、試験片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 MA200（ニコン株）で断面観察を行った。相対密度及び内部欠陥サイズは、画像解析ソフト Quick Grain Pad+（株イノテック）を用いて算出した。また、造形物の表面はデジタルマイクロスコープ VHX-1000（株キーエンス）で観察した。

* 現 繊維高分子材料科

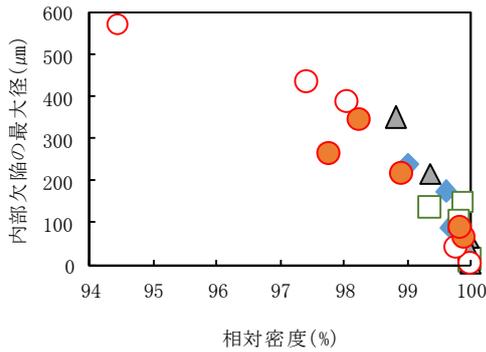


図1 相対密度と内部欠陥の最大径の関係

◆300W □375W ▲450W ○525W ●600W

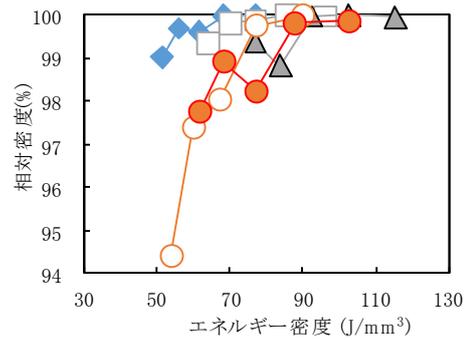


図2 エネルギー密度と相対密度の関係

◆300W □375W ▲450W ○525W ●600W

条件	300W 600mm/s	375W 750mm/s	450W 900mm/s	525W 1,050mm/s	600W 1,200mm/s
断面観察					
表面観察					

図3 各レーザ条件のエネルギー密度 77.69J/mm³ で作製した造形物の断面及び表面観察結果

3 結果および考察

各レーザ出力で作製した造形物の相対密度と内部欠陥の最大径の関係を図1に示す。内部欠陥の最大径は、レーザ出力によらず相対密度が向上することで縮小し、相対密度が99.9%以上で100μm以下となった。

次にエネルギー密度と造形物の相対密度の関係を図2に示す。相対密度は、レーザ出力によらずエネルギー密度の増加とともに向上した。相対密度が99.9%以上の造形物を得るために必要なエネルギー密度は300Wで76.92J/mm³、375Wで85.47J/mm³、450Wで92.31J/mm³、525Wで89.74J/mm³であったが、600Wでは、検討したエネルギー密度の範囲で相対密度が99.9%以上の造形物を得ることができなかった。ここで、造形物の高密度化に必要なエネルギー密度が、レーザ出力によって異なる要因を検討するためにエネルギー密度を77.69J/mm³一定とし、レーザ出力及び走査速度を変化させたときの造形物の断面及び表面を観察した。その結果を図3に示す。レーザ出力375W以下の造形物の断面には、微小な内部欠陥を僅かに観察できるが、450W以上では未溶融による粗大な内部欠陥が多く発生した。また、300W及び

375Wの造形物の表面に形成されたビードは平坦であったが、450W以上では凹凸が見られた。以上のことから、高出力条件で内部欠陥が増加したのは、ビードに凹凸が発生することで金属粉末の積層厚さが不均一になり、レーザ照射部の熔融量に変化したことに加え、レーザ出力が高い場合には低出力条件と比較して走査速度が速いことで熔融池の周辺を十分に熔融できなかったことが原因として考えられる。そのため、相対密度の向上には、エネルギー密度だけでなく、レーザの走査速度を考慮しなければならないことが分かった。

4 まとめ

金属3Dプリンタのレーザ条件がマルテンサイト系ステンレス鋼の造形物の内部欠陥の発生に与える影響について検討した結果、以下のことを得た。

- (1) 高密度な造形物を得るためのエネルギー密度は、レーザ出力が上昇するとともに高くなる傾向にあった。
- (2) 造形物の内部欠陥は相対密度を99.9%以上にすることで100μm以下に縮小できた。