

金属3D プリント造形物の金属組織と材質性能の評価

機械金属部 ○藤井要 宮本勘史 谷内大世

1. 目 的

金属プリンタでは金属粉末にレーザを照射し微小領域の熔融凝固を繰り返すことによって造形物を形成するため、その材質性能は、従来のように熱処理や圧延等の金属組織制御を伴って製造される素材と比較して、強度や耐食性が異なることが予想される。金属 3D プリントの利用拡大には、造形物の材質性能把握と、品質管理や造形不具合対応のための金属組織学的知見が重要となる。

本報告では、パウダーベッド方式の金属 3D プリントで造形したオーステナイト系ステンレス鋼の耐食性および金属組織と、金型や治具等の微小領域の補修や形状付加に期待される肉盛方式の金属 3D プリントで造形した工具鋼の硬度と金属組織について調査したので、その結果を報告する。

2. 内 容

2.1 オーステナイト系ステンレス鋼の金属造形物

(1) 試料の作製

オーステナイト系ステンレス鋼(SUS316L)粉末を原料とし、パウダーベッド方式の金属積層造形装置（㈱ソディック製 OPM250L）を用いて 50x20x30mm のブロック形状の試料を、レーザ照射出力と走査速度を変化させ作製した。また、造形後に熱処理（固溶化处理 1025℃ 110min）を行った熱処理材も作製し、造形したままのものと比較した。

(2) 耐食性評価と組織観察

耐食性評価試験片は、造形したブロック材から 30x20x5mm の短冊形状で、表面積において積層方向（Z 方向）の法線面が主体となる XY 面試験片と、積層方向に垂直な方向（X 方向）の法線面が主体となる YZ 面試験片をそれぞれ 3 片ずつ造形物から切り出し、#600 の耐水研磨紙で表面を仕上げた。試験片を 50℃ の塩化第二鉄溶液中に浸漬し 24 時間後に腐食減量を測定（ステンレス鋼の塩化第二鉄腐食試験方法（JIS G0578 A 法））した結果を全表面積および浸漬時間で除した腐食度を求めた。

組織観察は、造形物の積層方向（Z 方向）と積層方向に垂直な方向（X 方向）の 2 方向から行った。また、EPMA を用いた面分析により成分偏析を評価した。

(3) 結 果

図 1 に、標準的な条件で造形した試料での腐食試験の結果を示す。金属 3D プリント造形物の腐食度は、試験片ごとのばらつきが大きい。しかし、熱処理することで造形物の耐食性は、著しく向上し、一般材を凌ぐ結果となった。

図 2 に造形物の X 面での組織写真と EPMA 面分析の結果を示す。Cr 成分の面分析では鱗状の熔融池境界のいくつかに図中の矢印で示す三日月形状の Cr の欠乏箇所が見られた。また、熱処理材はこれら Cr 欠乏箇所が減少し、このことが耐食性向上に寄与していると推察

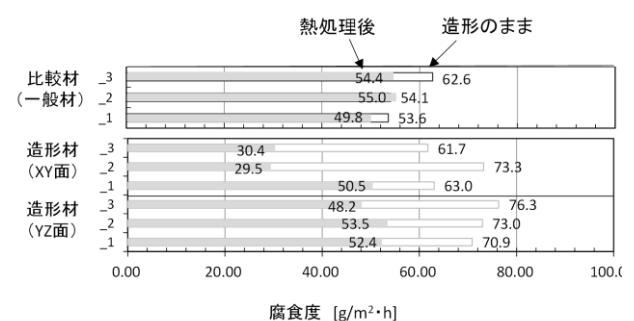


図1 耐食性評価結果（腐食減量評価）

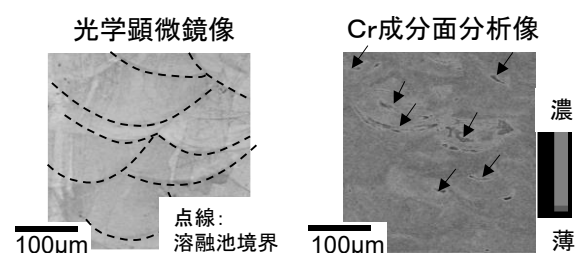


図2 組織写真と Cr 成分面分析結果

している。

2.2 工具鋼の肉盛材

(1) 試料の作製

金型や工具の修復を意図し市販の工具鋼を基材として用意した。そして供給粉末の種類を容易に交換できる肉盛方式の特徴を活かし、表 1 に示す成分値の異なる山陽特殊鋼(株)製の合金粉末 2 種 (SKD11, SPM60) を用いてその上に肉盛した。装置には、基材に対して垂直に噴射される粉末を横方向から複数のレーザ光により直接加熱するマルチビーム式を採用する(株)村谷機械製作所製 ALPION を使用した。肉盛条件検討の結果、両粉末ともレーザ出力 100W, 送り速度 10mm/s, 粉末供給量 23mg/s の条件で、高さ方向に 4 層積層することによって厚さ約 0.5~0.4mm, 広さ 20mm 角の肉盛層を形成できた。

(2) 硬度評価と相解析

SKD11 と SPM60 のいずれについても肉盛材の断面観察では、若干の空隙やクラックが見られたものの、基材への溶け込みが良好な肉盛層が形成できた。

形成した肉盛層を基材ごと切断し樹脂埋め研磨後、マイクロビッカース硬度計を用いて肉盛層断面の硬さを測定した。また、肉盛層表面について XRD により相解析を行った。

(3) 結果

図 3 に、断面の硬度分布を示す。SKD11 材での硬度は、表層部近傍で 420HV であり、基材と比較して低いものであった。これに対し、SPM60 材においては、表層部近傍で 1000HV 近くに達し、平均 819HV と高い硬度を示した。SKD11 肉盛材において十分な硬度が得られない結果を考察するため、XRD 解析を行った。

図 4 にその結果を示す。比較のため一般的な SKD11 鋼材の結果も示す。SPM60 肉盛材および SKD11 肉盛材には、比較材の SKD11 鋼材には見られないオーステナイトピークが見られた。また、SKD11 肉盛材にはマルテンサイトのピークがなかった。これは、レーザ照射によって熔融凝固した組織にオーステナイト組織が残留し硬度を低下させており、オーステナイト化を促進させる Cr の含有量が影響している。一方、SPM60 材で見られる硬度上昇は、XRD 解析では検出できない微細な炭化物の生成が寄与していると推察した。

3. まとめ

今回調査した材質での造形物は、いずれも一般の鋼材とは異なる金属組織を有していた。オーステナイト系ステンレス鋼では、造形条件により局所的な偏析があり、工具鋼の肉盛では、SKD11 鋼材に相当する硬度が同種の原料粉末の肉盛では得られず合金成分を変化させる必要があった。

このように材質性能と金属組織は造形条件に伴い変化することから、適切な条件設定が重要である。

これまで形状精度や空隙欠陥有無などの成形条件の検討が主であった造形技術の研究開発だが、今後は造形物の材質性能に関わる検討をさらに進め、機能向上を図る。

表 1 肉盛造形に用いた原料粉末

粉末種	化学成分 (mass%)					
	C	Cr	Mo	V	W	Co
SKD11	1.4-1.6	11.0-13.0	0.8-1.2	0.2-0.5	-	-
SPM60	2.3	4.0	7.0	6.5	6.5	10.0

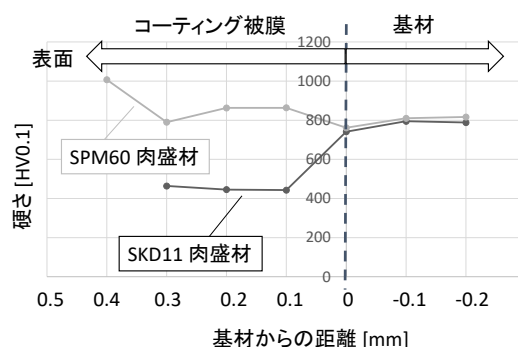


図 3 断面硬度分布結果

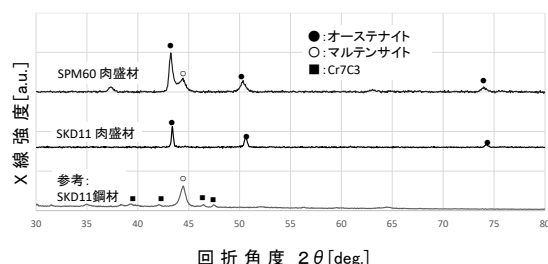


図 4 XRD 解析結果