

材料押出(MEX)方式で作製したステンレス鋼の内部構造と機械的性質

山田 泰希^{*1} 内野 正和^{*1}

Internal Structure and Mechanical Properties of Stainless Steel Fabricated by Material Extrusion (MEX) Method

Taiki Yamada and Masakazu Uchino

材料押出法（MEX）は金属AM技術の中でも安全性や費用対効果に優れており、近年、その実用化に向けて注目が高まっている。本研究では、MEXで造形したステンレス鋼SUS316Lの内部構造を変化させた試験体を作製し、機械的性質への影響を評価することで、軽量化と強度を両立可能な構造設計について検討した。

1 はじめに

金属AM技術の1つである材料押出法（Material Extrusion：MEX）は、粉末床溶融結合法（Powder Bed Fusion：PBF）や指向性エネルギー堆積法（Directed Energy Deposition：DED）と比較して、金属粉末やレーザー等の高出力源を必要とせず、安全性および費用対効果に優れているため、近年大きな注目を集めている。

このプロセスは、金属粉末を流動性物質（バインダー）と混練後、射出成形・脱脂焼結によって高精度複雑形状の三次元製品を製造する、金属粉末射出成形（Metal Injection Molding：MIM）の技術が応用される。図1に示すとおり、成形プロセスを積層造形に置き換えることで、ステンレス鋼、銅、ニッケル基合金を含む様々な金属部品の製造が行われており、造形および後処理パラメータを最適化することで、MIM同等の機械的特性が得られることが報告されている¹⁾。

金属材料を対象としたMEXの研究開発は、積層造形に適した材料の開発や、高い相対密度および機械的性質を得るための造形パラメータ制御に注力されている。今後のさらなる実用化に向けては、AM以外では製造が困難な内部構造の設計により、必要な構造特性を実現することが求められるが、PBFと比較して研究事例は限定的であり、今後の検討が望まれる分野である。

本研究では、材料押出法（MEX）を用いてステンレス鋼SUS316Lの試験体を作形し、内部構造を変化させることで得られる機械的性質の違いを評価する。これにより、内部構造が機械的性能に及ぼす影響を明らかにし、軽量化と強度の両立に向けた最適な設計指針の構築を目指す。

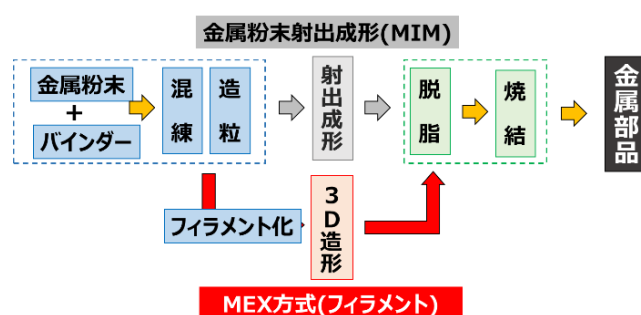


図1 MIMとMEXの工程

2 研究、実験方法

試験片の寸法を図2に示す。実験にはFrashforged社製のフィラメント式3Dプリンタ「Adventure 5M Pro」を使用し、材料には第一セラモ株式会社製のSUS316Lフィラメントコンパウンド「DM-6300C」を用いた。

試験片は長手方向に造形を行い、代表的な造形パラメータである充填率、シェルカウント、および充填パターンを変更した計18サンプルを作成した。充填率は30%、50%、80%の3種類とし、外郭の積層数を設定するシェルカウントは2層および4層の2種類とした。また、充填パターンは、スライスソフトウェア「Frashprint」に含まれるパターンのうち、ハニカム構造、ライン構造、3Dインフィルの3種類（図3）を選択して試験片を作形した。ハニカム構造は六角形の格子構造であり、ライン構造は90度交差する直線が交互に積層する2次元周期構造に分類される。一方、3DインフィルはXYZ方向に周期性を持つ3次元周期構造であり、強度特性の異方性が小さいことが特徴である。

試験片の造形、脱脂および焼結の各工程後の試験片の外観を図4に示す。図4(c)に示すように、焼結後の

^{*1} 機械電子研究所

試験片は金属光沢を呈し、金属粉末同士の結合が確認された。造形後および焼結後の試験片については、電子天秤により質量を測定するとともに寸法を計測し、各試験片の収縮率および相対密度を算出した。

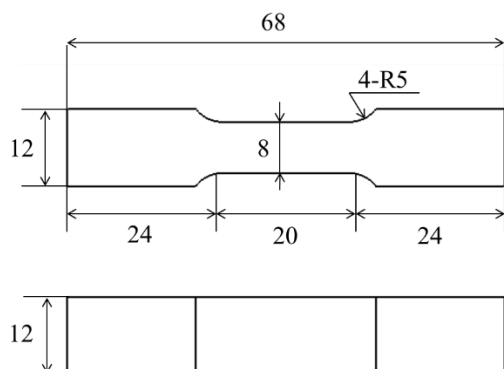


図2 造形した試験片と寸法

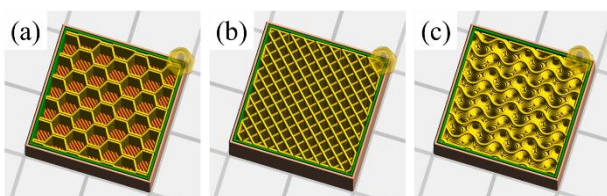


図3 内部充填パターン
(a)ハニカム構造 (b)ライン構造 (c)3Dインフィル

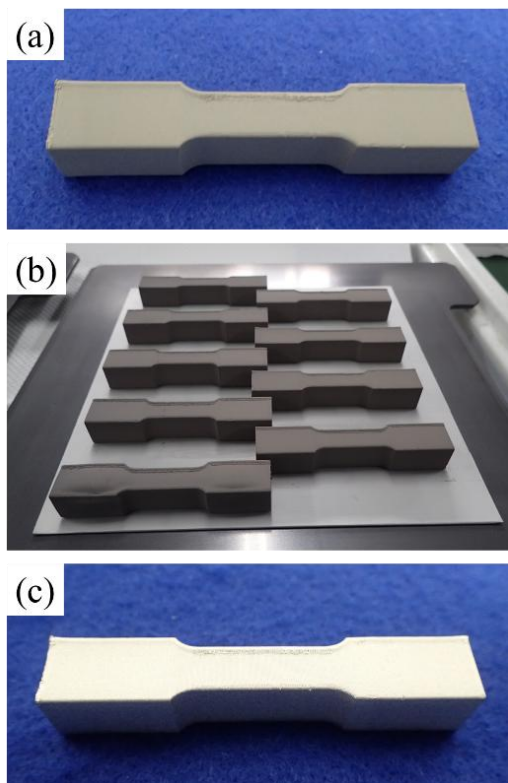


図4 MEX方式で作製された試験片
(a)造形後 (b)脱脂後 (c)焼結後

3 結果と考察

図5に、各種内部構造における相対密度と引張強度の関係を示す。図中のマーカーは、塗りつぶしがシェルカウント2、白抜きがシェルカウント4の条件を示している。全体として、相対密度が高くなるほど引張強度も増加する傾向が確認された。この傾向は、密度の向上に伴って材料内部の空隙が減少し、応力がより均等に分散されることに起因していると考えられる。ハニカム構造を採用した試験片は、他の充填パターンと比較して高い引張強度を示した。これは、ハニカム構造が積層方向の断面形状が一定であり、応力集中が生じにくいと考えられる。引張試験では、断面積の小さい部位に応力が集中し破断しやすいが、断面が一定なことでその影響が抑制されたと推察される。

また、焼結されたSUS316L材料については、米国粉末冶金連盟 (MPIF) により450 MPaの引張強度が基準として設定されている。本研究において、図中の黒矢印で示したハニカム構造の試験片は、MPIF規格の基準を満たしており、積層造形による焼結材として十分な機械的性能を有することが確認された。

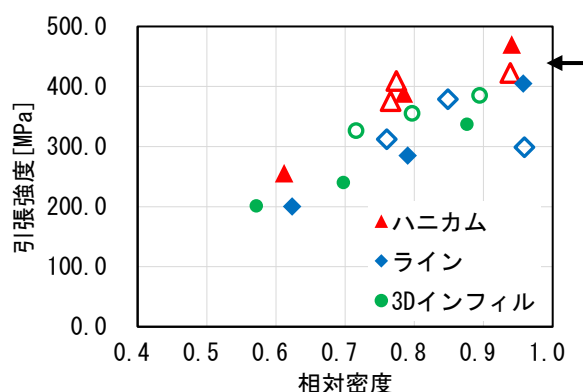


図5 各充填パターンにおける引張強度

4 まとめ

MEX方式で造形したハニカム構造の試験片は、MPIF規格におけるSUS316Lの基準引張強度（450 MPa）を満たしており、軽量化と高強度を両立する有効な内部構造であることが示唆された。

5 参考文献

- 1) 山田 龍之介：材料押出 (MEX) 技術の最近の動向と展望. 粉体及び粉末冶金, 71, 12, pp. 639-648 (2024)