

航空機部品を想定したInconel 718のAM造形体に関する 仕上げ加工技術の検討

在川 功一*1 山田 泰希*2

Examination of finishing technology for Additive Manufacturing materials of Inconel 718 assuming aircraft parts

Koichi Zaikawa, Taiki Yamada

航空機産業においては耐熱合金Inconel 718がタービンプレード等の重要部品に用いられているが、難削材であることから現在は金属AM、MIM（金属射出成形技術）等のニアネットシェイプによる作製が望まれている。しかし、これらの製造方法では仕上げ精度、特に表面粗さに課題があり、要求される面粗度とは大きな差が生じている。このため、様々な仕上げ技術が検討されているが、Inconel 718は難削材であることから、従来の機械加工と異なる低コストで容易かつ環境に配慮した技術が求められている。そこで、本研究では金属AMで造形されたInconel 718に対して、電解研磨およびショットブラストによる表面粗さの低減を目指した。

1 はじめに

航空機に用いられる重要部品については、耐熱性や耐衝撃性、耐食性など様々な特性が求められている。中でもタービンプレードやエンジン部品など、耐熱性が求められるものについてはニッケル合金Inconel 718が用いられている。Inconel 718は一般的に難削材として知られており、熱伝導率が低いため、切削加工、研削加工などの機械加工では加工時の熱がワークにこもりやすいことや、延性が高く、切れ刃に溶着することで工具摩耗が大きくなる特徴から、工具寿命が短くなるという問題がある¹⁾。

それを解決すべく、近年ではInconel 718粉末を用いた金属AMの研究開発が進んでおり、ニアネットシェイプによる造形が可能になってきている²⁾。一方で金属AM造形物はInconel 718に限らず、造形後の表面粗さが増大する傾向にあり、要求仕様に対して大きな隔りがあることが課題となっている。したがって、金属AMによる製造技術普及のためには、後工程となる造形後の仕上げ技術の開発が重要である。

そこで本研究では、金属AMで造形したInconel 718に対する仕上げ加工技術として、ステンレスやチタンの仕上げにも用いられる電解研磨とショットブラストを適用し、造形後の表面粗さ改善の可能性を検討した。

2 実験方法

2-1 Inconel 718粉末を用いた金属AM造形

仕上げ加工に用いるInconel 718試験片は金属3Dプリンタ、ニコン社製lasermeister 100Aにて造形を行った(図1)。造形条件を表1に示す。

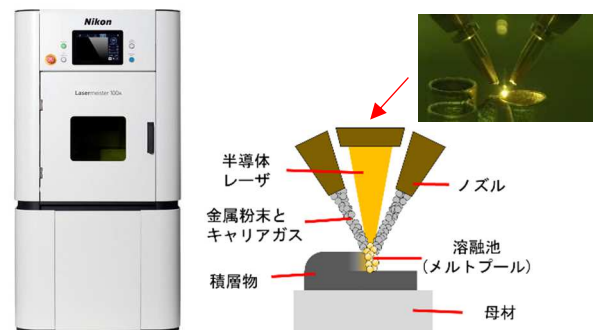


図1 金属3Dプリンタと模式図

表1 使用粉末および造形条件

合金名	INCONEL 718(山陽特殊製鋼(株)製)
粒度	-105/+53 μm (平均粒径 75 μm)
レーザー出力	150 W
走査速度	5 mm/s
粉体供給量	3.3 g/min
レイヤー高さ	0.1 mm
ライン幅	0.8 mm
造形雰囲気	Ar ガス

*1 (公財)飯塚研究開発機構

*2 機械電子研究所

2-2 電解研磨

電解研磨とは電解液中で研磨対象物を陽極、電極を陰極に接続し、双方に電位差を生じさせることで陽極側を電気化学的に溶出させて平滑化する技術である(図2)。本研究では陽極にInconel 718、陰極に白金(箔)を接続し、純チタンの電解研磨で良好な結果を示した³⁾、エチレングリコールに塩化ナトリウム(NaCl)または硝酸ナトリウム(NaNO₃)を混合した電解液中において電解研磨を行い、電圧や研磨時間が仕上げ面粗さに及ぼす影響を調査した。電解研磨条件を表2に示す。

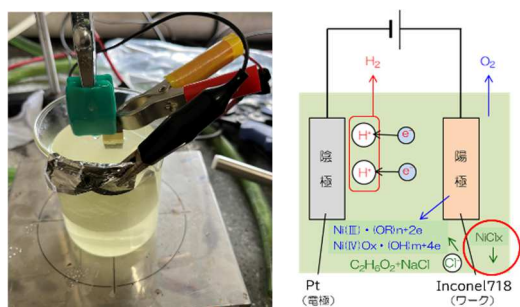


図2 電解研磨と模式図

表2 電解研磨条件

電解液	エチレングリコール +NaCl (5 wt%) または +NaNO ₃ (5 wt%)
電圧[V]	5, 15
時間[min]	30, 60

2-3 ショットブラスト

ショットブラストとは硬質な金属やセラミックスなどの微粒子を研磨対象物に投射することで表面を平滑化させる技術である(図3)。本研究では熱・電気・化学的に不活性な白色アルミナ(WA)と高い研削力を持つステンレスビーズ(SUS-B)を用いて圧力や投射距離を変化させて仕上げ面粗さに与える影響を調査した。ショットブラスト条件を表3に示す。



図3 ショットブラストと模式図

表3 ショットブラスト条件

No.	研磨材 粒径	圧力	投射距離
		MPa	mm
①	白色アルミナ	0.1	100
②	(WA)	0.3	100
③	180~425 μm	0.5	100
④	ステンレスビーズ (SUS-B) 75~250 μm	0.1	100
⑤		0.3	100
⑥		0.5	100
⑦		0.58	30

2-4 表面粗さの測定

各仕上げ加工後の表面粗さについては、アメテック社製表面形状測定機Form Talysurf-PGI 1240を用いて測定を行った。測定パラメータは一般的に金属表面の性状評価に用いられる平均粗さRa, 最大粗さRzに加えて光沢度と密接な関係がある粗さ曲線間隔RSmとした。

3 結果と考察

3-1 金属3Dプリンタを用いた試験片造形

金属3Dプリンタにより造形した試験片を図4に示す。造形後はベースプレートからワイヤ放電加工により切り離し、長さ25 mm, 幅10 mm, 厚さ2 mmの試験片とした。表面粗さを測定したところ、13.29 μmRa , 89.56 μmRz (n=5平均値)であり、一般的な切削加工の表面粗さと比較すると大きい値を示した。また、造形表面には粉末の粒子が残存している部分も観察された(図5)。

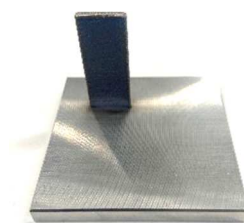


図4 金属3Dプリンタ造形後のInconel 718試験片

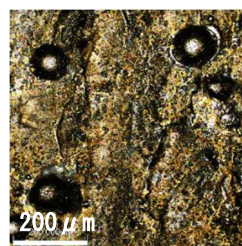


図5 造形表面(顕微鏡画像)

3-1 電解研磨

3-1-1 NaCl混合エチレングリコール電解液での研磨

印加電圧5 Vで電解研磨を行った際の表面粗さの推移を図6に示す。このとき、研磨時間30分経過後に一度表面粗さが増大し、60分経過後には造形直後の粗さを若干下回ったことから、研磨効果が低いことが確認された。これは、造形物の表面に生じた酸化被膜の影響によるものと考えられた。印加電圧を15 Vに増加して、酸化被膜の除去と表面粗さの低減を試みたところ、図7に示すように研磨時間に比例して表面粗さ(Ra, Rz)が低下し、60分の電解研磨後には2.70 μmRa を示した。表面の光沢度に関係する粗さ曲線間隔であるRSmも増大しており、造形直後に比較して平滑化が進んでいることが確認された。印加電圧5 Vおよび15 Vの研磨後の外観写真を図8に示す。

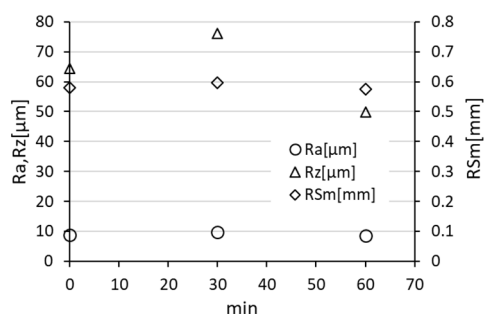


図6 研磨時間による表面粗さの推移(印加電圧5 V)

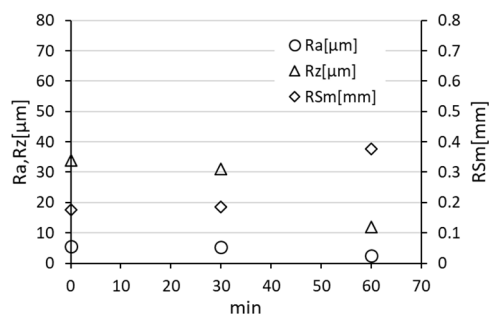


図7 研磨時間による表面粗さの推移(印加電圧15 V)

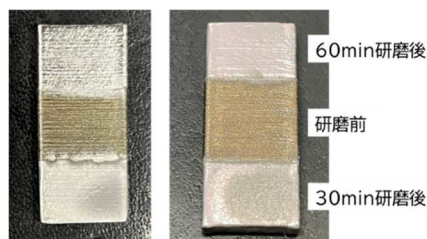


図8 NaCl電解液での電解研磨前後の外観
(左:5 V, 右:15 V)

3-1-2 NaNO₃混合エチレングリコール電解液での研磨

3-1-1で良好な結果が得られた印加電圧15 Vの条件にて同様に電解研磨を実施した。このときの表面粗さの推移を図9に示す。Ra, Rzは低減しているが、NaClと比較すると低減量が小さいことが確認された。RSmの推移はNaClと差がないが、図10に示すように光沢度合いは若干劣ることが確認された。これはRzの値が低下しておらず、光が拡散反射していることが原因と考えられる。

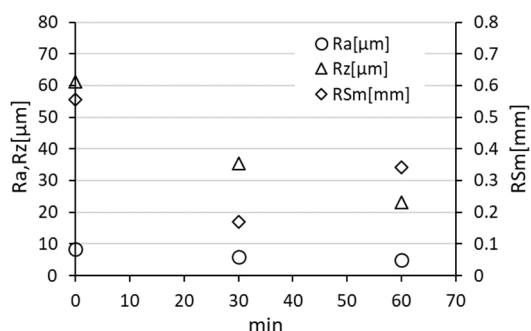


図9 研磨時間による表面粗さの推移(NaNO₃)

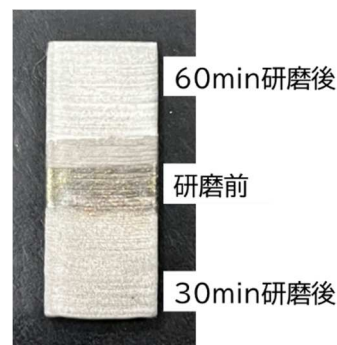


図10 NaNO₃電解液での電解研磨前後の外観

3-2 ショットブラスト

表3の条件①～⑦でショットブラストを実施し、前後の表面粗さを測定した(図11)。ブラスト投射時間は、テスト投射を実施し表面粗さの低減量が飽和状態となる時間、すなわち15秒と設定した。いずれの投射条件においても造形後から表面粗さが低下し、圧力に比例して低下が進んでいることを確認したが、研磨後の数値は平均粗さで3.0 μmRa 以上となり、電解研磨と比較すると大きい値を示した。これらの結果から、ショットブラストは比較的大きな凹凸の除去には適するが、最終仕上げ工程には不向きであると考えられる。

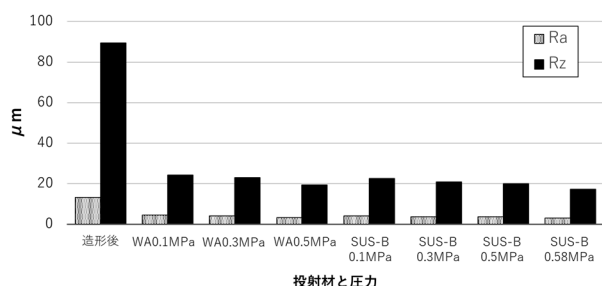
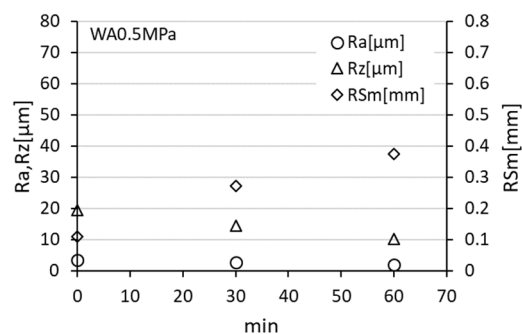


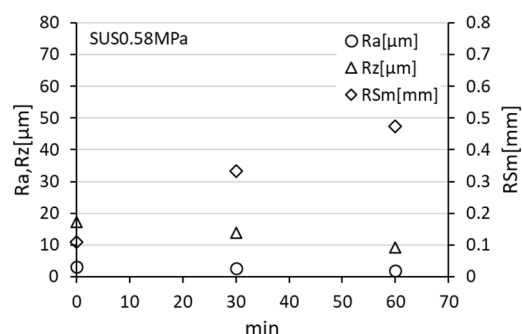
図11 ショットブラスト条件別の表面粗さ

3-3 ショットブラスト後の電解研磨

さらなる表面粗さ低減を目的として、ショットブラスト後に電解研磨を実施した。ショットブラストについては粗さ低減効果が大きかった表3に示した条件③、⑦における研磨を実施し、その後NaCl混合電解液、15 Vによる電解研磨を実施した。研磨時間と表面粗さの推移を図12に示す。投射材の種類(WA, SUS-B)に限らず、単独の電解研磨を実施した場合の表面粗さと比べるとRa, Rzともに大きく低下しており、投射材SUS-B、圧力0.58 MPaの条件でショットブラストした試験片を電解研磨した場合、1.97 μm Ra, 9.28 μm Rzとなった。したがって、粗さ低減には前処理としてショットブラストを行い、その後電解研磨を実施することが効果的であると確認された。



(a) WA0.5 MPaショットブラスト試験片の電解研磨



(b) SUS0.58 MPaショットブラスト試験片の電解研磨

図12 ショットブラスト後の電解研磨表面粗さ推移

4 まとめ

本研究では、AM造形されたInconel 718試験片に対してショットブラストおよび電解研磨を用いて仕上げ技術の検討を行った。得られた結果を以下に示す。

- ・電解研磨ではエチレングリコールを溶媒としてNaClもしくは NaNO_3 をそれぞれ5 wt%で混合したものを電解液として用いた。NaClを混合した電解液の方が表面粗さの低下が進み、光沢を有する表面が得られた。

- ・電解研磨における印加電圧について、5 Vでは電解液への溶出不良が発生し表面粗さが低減しなかった。一方で、15 Vの場合は研磨直後から溶出が継続し、表面粗さが低下した。これは造形物表面の酸化物が影響したものと考えられる。

- ・ショットブラストにおいてはWA, SUS-Bそれぞれの投射材について表面粗さの低下が確認できた。低下量については電解研磨よりも小さかった。

- ・ショットブラスト後に電解研磨を行うことでさらなる表面粗さの低下を達成でき、投射材SUS-B、圧力0.58 MPaによりショットブラストした試験片を電解研磨したところ、Raは1.97 μm となった。

5 参考文献

- 1) 関谷克彦：精密工学会誌，Vol.70，No.8，pp. 1086-1090 (2004)
- 2) 橋本隆：軽金属，第72巻，第10号，pp. 613-617 (2022)
- 3) 在川功一：福岡県工業技術センター研究報告，No.26，pp.29-32 (2016)