

金属粉末射出成形を活用した微細構造体の成形技術に関する研究

西澤 崇^{*1} 田尻 智基^{*1} 中村 憲和^{*1}

Study on Microstructure Molding Technology Using Metal Injection Molding

Takashi Nishizawa, Tomoki Tajiri and Norikazu Nakamura

金属粉末射出成形(MIM)の活用による製品の高付加価値化を目指し、微細形状成形技術の確立を目的とした射出成形及び脱脂・焼結工程の各条件が微細突起の成形性に及ぼす影響を調査した。微細形状の高精度な転写には材料固化前の高速射出が不可欠であるが、調査結果から過剰な速度はエア排出不足による未充填を招くことが明らかになった。また、離型時の突起破損を防ぐには、金型温度を適度に低く保ち成形体強度を確保する必要がある。更に、平均粒径7 μm の金属粉末を用いて高さ74 μm の微細突起を作製できたことから、使用粉末の平均粒径に対し約10倍のスケールを持つ微細形状であれば、MIMによる成形が可能であることが示唆された。

1 はじめに

金属粉末射出成形(Metal Injection Molding, 以下MIM)は、プラスチック射出成形と粉末冶金を組み合わせた製造技術である。複雑な三次元形状を高精度かつニアネットシェイプで量産できる利点があり、電子機器や医療機器業界等で広く注目を集めている¹⁾。一方で、MIMは高い体積割合で金属粉末にバインダーを添加するため脱脂・焼結工程における収縮率が大きく、変形を生じやすいという課題がある。

当所ではこれまでに、ゲートフロー、厚肉部のヒケ、自重、及び試料と敷板間の摩擦拘束に起因する各変形メカニズムに対し、それぞれの変形抑制対策を講じることで基礎的なMIMプロセス技術を確立してきた²⁾。現在、この技術を基盤とし、微細構造を有する製品への適用が県内企業から求められている。

しかし、微細形状の成形においては、金型キャビティ内の微小空間への材料充填(転写性)や離型時の微細構造の破損(離型性)、更には脱脂・焼結時の微細部の形状維持など、通常の寸法スケールとは異なる技術的課題を解決する必要がある³⁾。そこで、本報告ではMIM技術を用いた製品の高付加価値化に向けた微細形状成形技術の確立を目的とし、射出成形工程及び脱脂・焼結工程の各種パラメータが微細構造の成形性に及ぼす影響を調査した結果を報告する。

2-1 使用MIM原料

本研究では、MIM用SUS316Lフィードストック(第一セラモ株式会社製、DM-2690H)を使用した。本原料に用いられている金属粉末の平均粒径は7 μm である。また、含有されるバインダーの添加割合は体積比で約35 vol%であり、標準的な収縮率は13.5 %である。

2-2 試料形状

本研究では、微細形状の転写性及び離型性を評価するため、図1に示す微細な凹部(成形体では突起となる形状)を有する評価用金型を使用した。表1に本金型における凹部の仕様を示す。突起を成形する金型寸法(深さ)は87.2 μm であり、使用する金属粉末の10倍以上のスケールである。なお、本金型にはキャビティ内のエアを排出するためのエアイベントを設けておらず、充填時に金型の割り面やエジェクタピンの隙間からのみエアが排出される構造となっている。

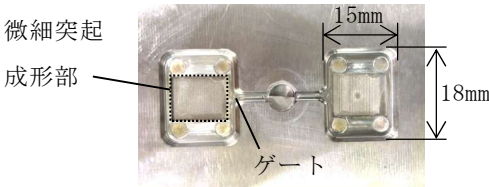


図1 微細突起成形用金型のキャビティ外観

表1 試料の微細突起仕様

形状	半球(SR108 μm)
高さ	87.2 μm
個数	1638個

^{*1} 機械電子研究所

2 実験方法

2-3 成形品・焼結品の作製方法

射出成形には、小型射出成形機(株式会社メイホー製、 μ MIV-5)を用いた。射出成形条件を表2に示す。なお、微細形状における転写性及び離型性に与える影響を評価するため、主要な成形パラメータである金型温度と射出速度を変化させており、金型温度は30℃から50℃の範囲で、射出速度は30 mm/sから120 mm/sの範囲で設定した。

図2に脱脂・焼結条件を示す。得られた成形体は、窒素雰囲気中で加熱脱脂を行った後、真空及びアルゴン雰囲気中で焼結を行った。焼結温度は1350℃、保持時間は3時間とした。

表2 射出成形条件

射出温度(℃)	180
金型温度(℃)	30, 35, 40, 45, 50
射出速度(mm/s)	30, 35, 40, 50, 60, 80, 100
保圧(MPa)	80
保圧時間(s)	2
冷却時間(s)	30
型締力(kN)	48

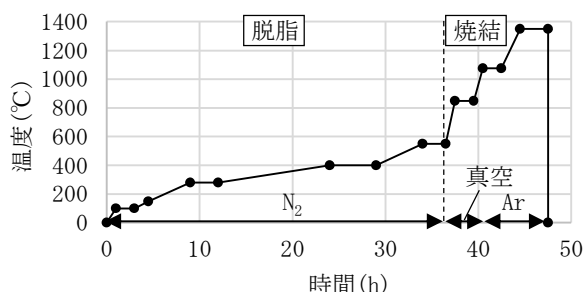


図2 脱脂・焼結条件

2-4 形状評価方法

成形体の離型時における破損有無の確認と、成形体及び焼結体における微細突起高さや三次元形状の測定にレーザー顕微鏡(株式会社エビデント製、OLS5100-EAT)を用いた。本研究では射出成形条件の影響を受けやすい流動末端側の微細突起を評価対象としており、微細突起の無い面を基準に突起高さを測定することで、測定者によるばらつきを低減している。

3 結果と考察

3-1 転写性の評価結果

微細形状を高精度に転写するには、微細部まで射出圧力を十分に伝播させること、エアの巻き込みを低減することが重要である。そこで、材料の固化及びエアの排出に大きく影響する射出速度を変化させ、キャビティ内の微小空間に対して材料充填が可能か検証した。

図3に微細突起高さの測定結果を示す。射出速度を60 mm/sから増加させると成形体の突起高さが増大し、100 mm/sにおいて金型寸法(87.2 μ m)に最も近い値を示した。これは、MIM材の熱伝導率が高く、射出中に急速に固化が進むため、高速射出によって転写性が向上したためと考えられる。一方で、射出速度を120 mm/sとした場合には、逆に突起高さが減少する傾向が確認された。本金型にはエアイベントを設けていないため、射出速度が過剰に高い場合はエアの排出時間が不足し、未充填を引き起こしたためと推察される。

以上より、微細突起形状を良好に転写するには、材料が固化する前に充填を完了させると共に、金型内のエア排出が追いつく適切な射出速度を選定することが有効であると考えられる。

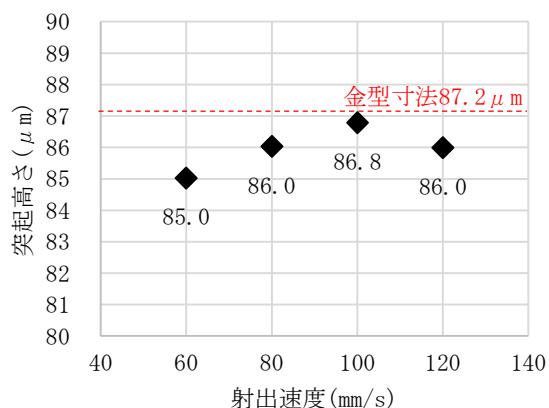


図3 微細突起高さ測定結果

3-2 離型性の評価結果

MIMの成形体は、体積比で約1/3を占めるバインダーによって形状を保っているため、焼結前の強度は低い。特に微細形状を有する成形体の場合、離型時に大きな応力がかかると微細形状が破損する懸念がある。そこで、成形体の離型強度に影響を与える温度に着目し、微細突起を破損無く離型できるか検証した。

表3に金型温度及び射出速度を変更した際の成形体外観の評価結果を示す。評価は、良品を「○」、材料の早期固化に起因する充填不良を「△」、離型時の微細突起の破損を「×」に分類した。評価の結果、金型

温度30℃かつ射出速度が低い条件においては、材料の急速な冷却・固化により充填不良が生じやすいことが分かった。一方、金型温度50℃において射出速度を高く設定した条件では、充填はされるものの、離型時に微細突起の破損が発生した。図4に破損が生じた成形体表面の高さ測定結果を示す。微細突起を配置した領域に陥没した箇所が観察されており、微細突起が破損していることを視覚的にも確認できる。この破損は、高速射出に伴う材料のせん断発熱により局所的な冷却が不十分となり、微細突起部の強度が不足する状態で離型されたことが原因と考えられる。

以上より、射出成形条件の調整によって微細突起の離型が可能であり、成形体の強度を保つためには、金型温度を十分低く設定すると共に、充填不良を防ぐために射出速度によるせん断発熱を利用して転写させることが有効であると考えられる。

表3 成形体外観評価結果

		射出速度(mm/s)					
		30	40	50	60	80	100
金 型 温 度 (℃)	30	△	△	○	○	○	○
	35	△	○	○	○	○	○
	40	△	○	○	○	○	○
	45	△	○	○	○	○	○
	50	○	○	○	○	×	×

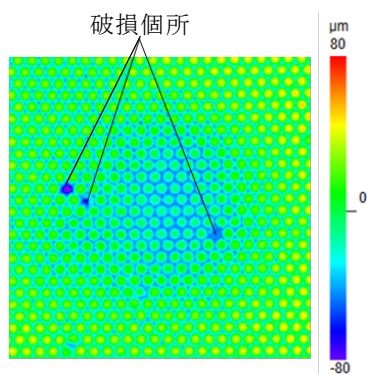


図4 離型時に破損した微細突起の高さ測定結果

3-3 焼結体の評価結果

得られた成形体の脱脂・焼結を行い、形状の維持性、ならびに平均粒径7μmの金属粉末を用いた微細突起の成形可否を検証した。

図5に焼結体における微細突起形状を測定した結果を示す。微細突起の収縮率は17.3%であり、最終的な

突起高さは74.1μmとなった。また、突起根元部分において形状の崩れが観察された。観察方向に対して観察点が、急勾配(85°以上)であることによるレーザー顕微鏡の測定ノイズの影響も考えられるが、標準的な収縮率(13.5%)を大きく上回った点が注目される。これらの要因として、射出時に材料が突起部へ流入する際、金属粉末よりも流動性の高いバインダーが先行して充填されることで金属粉末の密度が低下し、局所的な収縮率の増大、根元の形状崩れが引き起こされたことが推測される。根元の形状崩れの真の要因解明及び対策は、今後の課題である。

一方で、突起の先端側の形状は良好に維持されていた。本検証により平均粒径7μmの金属粉末を用いた場合、最終的にSR74.1μmの突起形状を成形・焼結できることが確認できた。以上の結果から、MIMにおいて微細形状を成形する際には、使用する金属粉末の平均粒径に対して約10倍のスケールを持つ形状であれば成形可能であることが示唆された。

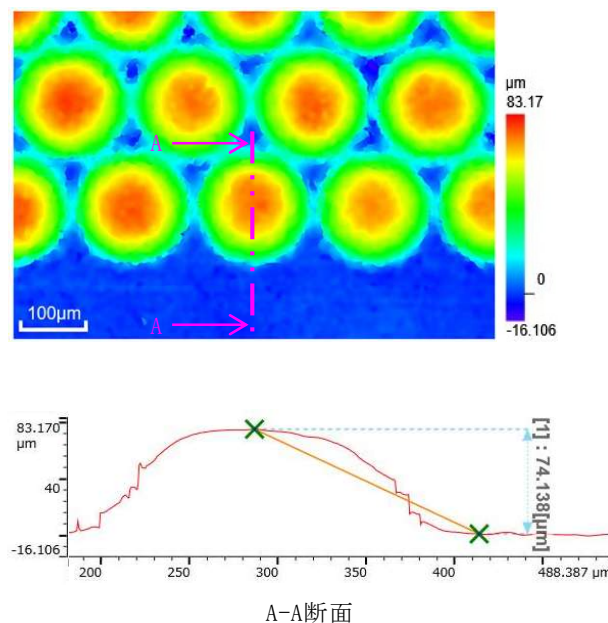


図5 焼結体の微細突起高さ測定結果

4 まとめ

SUS316LのMIM原料を用いた微細突起形状の成形、脱脂・焼結を行った結果、以下の知見を得た。

- (1) 金型の微細形状を精密に転写するには、材料の固化前に高速射出する必要がある。しかし、射出速度が過剰に大きい場合は金型内のエア排出が間に合わず、転写性が悪化する。

- (2) 微細突起の離型においては、金型温度が高い状態で射出速度を大きくするとせん断発熱による冷却不足が生じ、離型時に突起が破損するリスクがある。金型温度を適度に低く保ち(45° 以下)、成形体の強度を確保した状態で離型することが有効である。
- (3) 微細突起は収縮率が17.3 %と標準より高く、根元に形状崩れが生じた。射出時にバインダーが先行充填したため、粉末密度の低下による局所的な収縮の増大を招いたと推測される。
- (4) 平均粒径7 μm の金属粉末を用いることで、SR74.1 μm の突起形状を成形・焼結できた。使用する金属粉末の平均粒径に対し、概ね10倍のスケールを持つ微細形状であれば成形可能であることが示唆された。

5 参考文献

- 1) 京極 秀樹：成形加工，18巻，10号，pp.722-728 (2006)
- 2) 西澤 崇，田尻 智基，中村 憲和：福岡県工業技術センター研究報告 No. 35 (2025)
- 3) 松崎 覚，田中 茂雄，西藪 和明：粉体および粉末冶金論文集52-1 (2005)