

ホットランナーを活用した金属粉末射出成形の生産性向上に関する研究

西澤 崇^{*1} 田尻 智基^{*1} 中村 憲和^{*1}

Study on Improving Productivity in Metal Injection Molding Using Hot Runners

Takashi Nishizawa, Tomoki Tajiri and Norikazu Nakamura

金属粉末射出成形(MIM)は複雑形状部品をニアネットシェイプで量産可能であるが、射出成形工程におけるスプルー及びランナー発生による材料ロスが課題である。本研究では、MIMプロセスにおける材料歩留まりの向上を目的に、MIMにホットランナーを適用したスプルー・ランナーレス成形の有効性を検証した。独自設計のホットランナーによる成形を行った結果、従来のコールドランナーと同等の焼結体を得られることが確認できた。更に、材料ロスの解消によって射出成形工程における材料歩留まりは71 %から100 %へと飛躍的に向上し、冷却時間の削減によってサイクルタイムを49 %短縮できた。

1 はじめに

近年の原材料やエネルギー価格の高騰を背景に、中小製造業では自社内の生産性向上による競争力強化が喫緊の課題となっている。このような中、省資源型の加工技術として金属粉末射出成形(Metal Injection Molding, 以下MIM)が福岡県内においても改めて注目を集めている。MIMは複雑な三次元形状の部品を高精度かつニアネットシェイプで量産できる利点を有する¹⁾一方で、射出成形工程において生じるスプルー及びランナーが材料ロスを招くという課題を抱えている。

一般的に、プラスチックの射出成形と同様にスプルー及びランナーは粉砕してリサイクルする取り組みが行われている。しかし、MIM原料では射出成形時の熱履歴やせん断応力によるバインダーの劣化、更には金属粉末比率の変化が生じやすく、リサイクル材の使用が成形不良率を増大させる懸念が指摘されている²⁾。

そこで本研究では、MIMプロセスにおける抜本的な材料歩留まりの向上を目的に、プラスチック射出成形の分野で材料ロス削減に有効とされるホットランナーシステム³⁾をMIMに適用し、スプルー・ランナーレス成形の有効性を検証した結果について報告する。

2 実験方法

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

含まれる金属粉末の平均粒径は7 μm であり、バインダーの含有割合は体積比で約35 vol%である。

2-2 試料形状

図1に試料形状を示す。本研究では、ホットランナーの導入による成形性への影響(特に合流部における不具合の改善効果)を検証するため、評価用試料として外径38 mm、内径28 mm、厚さ5 mmのリング形状を採用した。流動末端に合流部(ウェルドライン)が形成されるよう、ゲート部から左右に材料が分岐して充填されるゲート配置とした。

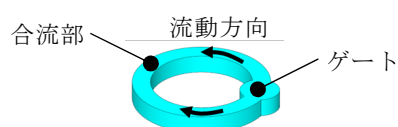


図1 試料形状

2-3 ホットランナー及び金型

一般的に、MIMに対するホットランナーの適用は困難とされている。その主な理由は、MIM特有の高粘度による流動性の低さ、温度低下に伴う固化のしやすさ、及び金属粉末を含有することによる流路の激しい摩耗が適用の課題となるためである。

これらの課題を解決するため、本研究では射出成形機(株式会社ソディック製、TR20EHV)に搭載可能なホットランナーを独自に設計・製作した。図2にホットランナーの断面図を示す。基本仕様として、ノズル数を2本、ノズルピッチを100 mmとし、オープンゲート方式を採用した。オープンゲート方式は、ノズル先端

^{*1} 機械電子研究所

の温度設定によって材料の流動性を制御する仕組みであるが、MIM原料は温度変化による粘度(流動性)の変化が極めて大きいため、熱的に流動を制御する本方式を採用した。また、本ホットランナーの最大の特徴として、分岐流路を構成するマニホールドに分割式構造を採用したことが挙げられる。マニホールドを分割式とすることで、内部流路に精密な研磨やコーナーR(丸み)を付与することが容易となり、MIM原料の高粘度による流動抵抗を低減できる。更に、金属粉末による流路の摩耗が生じた際にも部分的な部品交換が可能となるため、運用上のメンテナンス性を大幅に向上できる構造となっている。

なお、試料形状を作製するための金型は2個取りとし、従来工法と比較評価を行うため、ホットランナー用に加えて、コールドランナー用の金型も製作した。

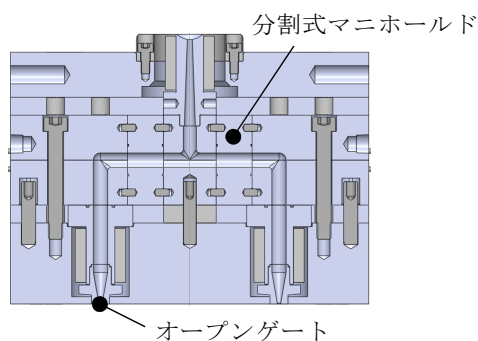


図2 ホットランナー断面図

2-4 射出成形条件及び脱脂・焼結条件

表1に本実験における主な射出成形条件を示す。合流部の外観品質に射出速度が大きく影響することから、射出速度を調整することで射出時間を0.5 sから1.0 sまで変化させて、ホットランナー及びコールドランナーのそれぞれで試料形状の成形体を作製した。

表1 主な射出成形条件

	ホットランナー	コールドランナー
射出温度(℃)	180	180
射出速度(mm/s)	35～80	35～90
射出時間(s)	0.5～1.0	0.5～1.0
保圧(MPa)	80	80
金型温度(℃)	45	45
冷却時間(s)	10	50
型締力(kN)	192	192

図3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。

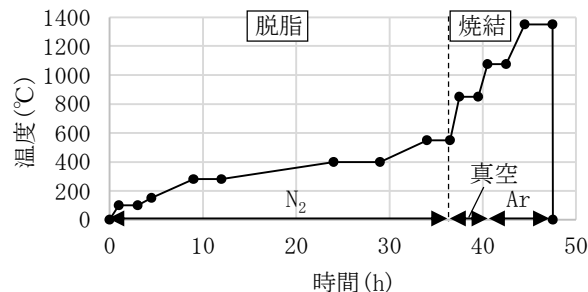


図3 脱脂・焼結条件

2-5 形状評価方法

焼結体の形状測定については、3Dスキャナ(GOM社製、ATOS5)を使用した。測定データは三次元形状で表現されるため、得られた3Dモデルを位置合わせして表面偏差から比較評価することが可能である。本研究では、ホットランナーとコールドランナーから得られた焼結体の形状を比較し、焼結体の品質評価に使用した。

3 結果と考察

3-1 ホットランナーを用いた射出成形可否の確認

本研究で設計・製作したホットランナーを用いて、スプルー・ランナーレス成形の実現可能性を検証した。

図4に示す温度条件により、リング形状の連続成形が可能であった。マニホールド分割面からのMIM原料の漏れも確認されなかった。一方で、2本のノズルにおける射出量を均等に制御するには、ノズル間で5～10℃の温度差を設定する必要があった。この射出量の不均衡は流路内径の微小な加工公差や流路壁面の表面粗さの個体差による流動抵抗のバラツキが要因と考えられる。主に金属粉末で構成されるMIM原料は、一般的なプラスチックに比べて圧力損失が大きく、わずかな寸法差が顕著な流動挙動の差となって現れる。そのため、バインダーの温度依存性を利用した粘度調整が必要となったものと推察される。更に、その他の課題として、ノズル先端から材料が垂れ落ちるドルーリング現象(ハナタレ)が確認された。これを抑制するためには、ノズル温度を150℃未満に制限する必要がある、成形条件の許容幅が狭小化する要因となった。

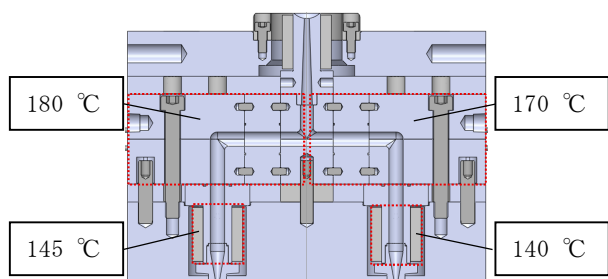


図4 ホットランナー温度条件

3-2 スプルー・ランナーレス焼結体の品質評価

ホットランナーとコールドランナーを用いて作製した焼結体を比較し、ホットランナーにおいて従来工法と同等以上の品質が得られるか検証した。

表2に相対密度と収縮率を測定した結果を示す。相対密度は両者でほぼ同等であったものの、収縮率には若干の差異が認められた。図5にホットランナーとコールドランナーによって得られた焼結体の表面偏差を示す。両者に有意な違いは認められなかった。

表2 焼結体の密度、収縮率測定結果

	ホットランナー	コールドランナー
相対密度	96.4 %	96.6 %
収縮率	12.7 %	13.0 %

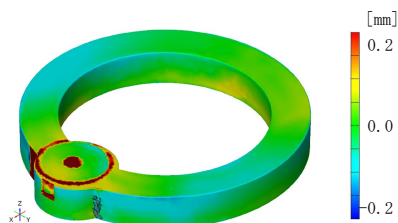


図5 焼結体の表面偏差測定結果

次に、射出時間を変化させ、ホットランナーとコールドランナーにおける合流部の状態を比較した。表3に射出時間を変更した時の合流部外観評価結果を示す。コールドランナーを用いた成形では、射出時間が0.5 sを超えると合流部が全く融合せずに割れが生じた。これに対し、ホットランナーを用いた成形では、射出に1 sを要した場合であってもウェルドラインは残存したものの、合流部が融合した成形品を得ることができた。このことから、ホットランナーの適用は合流部の融合不良に対して改善効果を示すものの、ホットランナーの導入のみでウェルドラインの解消に至るものではないことが確認された。

表3 合流部外観評価結果

		ホットランナー	コールドランナー
射出時間	0.5 s	ウェルドライン	ウェルドライン
	0.6 s	ウェルドライン	割れ
	0.8 s	ウェルドライン	割れ
	1.0 s	ウェルドライン	割れ

以上の結果から、ホットランナーにおいても従来プロセスと同等の品質を有する成形体が得られることを確認できた。

3-3 材料歩留まり評価結果

ホットランナーとコールドランナーを用いた射出成形工程における材料歩留まりを評価した。その結果、ホットランナーの導入によってスプルー及びランナー部が不要となったため、コールドランナーによる場合と比較して材料の流動長を71 mm短縮、2個取りに必要な材料を2097 mm³削減することができた。これに伴い、射出成形工程における材料歩留まりが従来の71 %から100 %へと飛躍的に向上した。したがって、スプルー・ランナーレス成形はMIMの射出成形プロセスにおける材料ロス削減に極めて有効であると実証された。

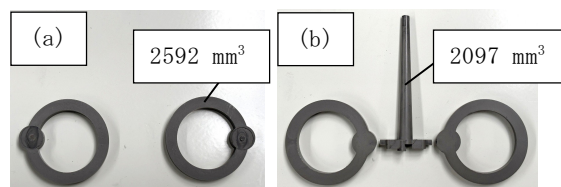


図6 成形体(a)ホットランナー (b)コールドランナー

3-4 サイクルタイム評価結果

ホットランナーとコールドランナーを用いた射出成形工程におけるサイクルタイムを評価した。図7にサイクルタイムの調査結果を示す。コールドランナーを用いた従来の成形において、スプルー部の破断を伴わずに確実な離型を行うためには、50 sの冷却時間を要していた。これに対し、ホットランナーを適用したスプルー・ランナーレス成形では、熱を持ちやすいスプルー部の冷却工程そのものが不要となる。これにより、製品部のみ冷却による安定した離型が可能となった結果、本試料形状では冷却時間を50 sから10 sに大幅に短縮することができ、射出成形工程全体のサイクルタイムを従来比で49 %短縮することに成功した。

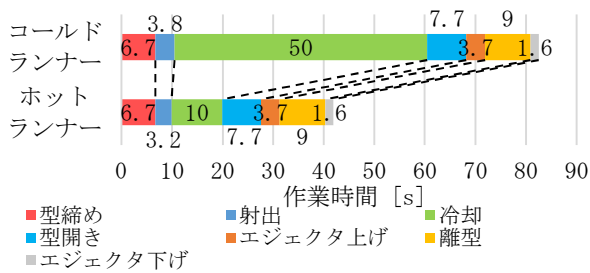


図7 サイクルタイム調査結果

4 まとめ

本研究では、MIMプロセスにおける材料歩留まりの向上を目的として、ホットランナーを活用したスプルー・ランナーレス成形について評価した。その結果、以下の知見を得た。

- (1) ホットランナーを活用したスプルー・ランナーレス成形においても、従来のコールドランナーを用いた場合と同等の品質を有する焼結体が得られた。
- (2) ホットランナーの活用によってスプルー及びランナー部が不要となり、材料ロスの削減による射出成形工程における材料歩留まりの大幅な向上が可能である。
- (3) 離型時の破断の原因となるスプルー部が不要となるため、冷却時間及び射出成形工程全体のサイクルタイムの大幅な短縮を実現できる。

5 参考文献

- 1) 京極 秀樹：成形加工，18巻，10号，pp.722-728 (2006)
- 2) 川崎製鉄株式会社：特開平8-104903 (1996)
- 3) 横井 秀俊：成形加工，37巻，11号，pp.440-443 (2025)