

セラミックス射出成形技術の高度化研究

機械金属部 ○森田 春美

1. はじめに

セラミックス射出成形法は、三次元形状が容易にかつ効率的に生産できる技術であり、これらについての研究はセラミックス粉末と助剤の調合、配合を中心とした物性を研究することから行われ、個別的な技術では多くの研究成果が報告されている。しかし要素工程が重なるセラミックスの射出成形を生産システムとしてとらえ、工程の最適化という観点からの報告は少ない。

本研究では、いま色々な分野で注目されている品質工学を用い、複数工程をとるセラミックス射出成形を対象に、成形技術の評価法としてその基本機能に着目したときの評価尺度となる転写性の観点から工程の最適化について検討した。

2. 実験の目的

すでに述べたような技術的課題を踏まえ、セラミックス射出成形技術の開発を行う。具体的にはリップ付きのモデル金型を使用して転写性の評価を行いモデル成形品の成形条件の最適化を図ると共に金型設計の基礎データを得ることを目的とする。

3. 実験の計画

セラミックスの射出成形は、図1に示したように大別して①混練、②成形、③脱脂、④焼結となる。これらの各工程から主たる因子を抽出し、全工程を1つのシステムとしてとらえて実験した。

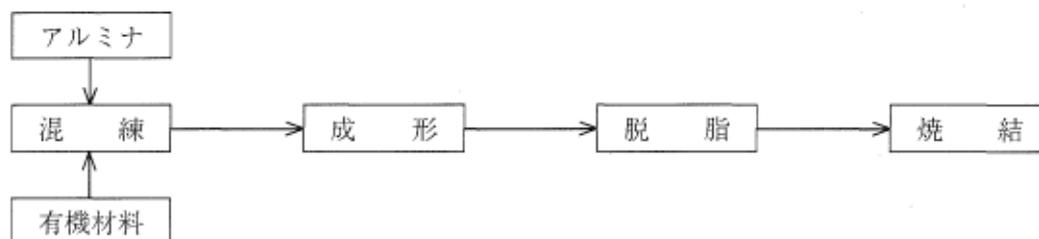


図1 セラミックス射出成形工程の流れ

3. 1 制御因子

制御因子は、転写性を向上させるために意図的に変化させることのできる条件であり表1に示した8つの因子を選択した。混練工程からは加熱流動性の効果としての結合剤にPP, PS, EVAの3種類、滑剤はステアリン酸、添加して可塑化する外部可塑（物理的混合により可塑化を与える物）としてDBPを選定し、2水準または3水準の条件とした。成形工程からは樹脂温度、射出圧力を選定し、3水準の条件とした。脱脂・焼結工程については転写性に関しては寄与が小さいことが明らかにされていることから固定条件とした。

制御因子を表2のようにL₁₈直交表に割り付け、有機材料のアルミナに対する割合を重量%で示した。

3. 2 信号因子

信号因子は成形品を意図的に変化させるための条件である。転写性においては、金型寸法を信号因子とすることが基本である。実験に用いた金型は、リップ付き金型の設計基礎となるデータの構築を考えたとき、主たる要因と思われる7つの要因をL₁₂直交表に割り付け、モデル金型を製作した。

3. 3 誤差因子

誤差因子は意図的に設定することができず、また寸法の比例関係にばらつきを与える条件である。

品質工学の実験では誤差因子をわざと取り入れ、それでもS/N比の高い条件を見つけることを目的としている。その意味で誤差因子Nの選定は最も重要なことである。

表1 制御因子と水準値

要 因	水 準			単位
	1	2	3	
A: 結合剤 PP	0	26 (1.0)	—	g
B: 可塑剤 DBP	19.5 (0.75)	26 (1.0)	39 (1.5)	g
C: 滑剤 ステアリン酸	78 (3.0)	65 (2.5)	52 (2.0)	g
D: 結合剤 PS	19.5 (0.75)	26 (1.0)	32.5 (1.25)	g
E: WAX	39 (1.5)	52 (2.0)	65 (2.5)	g
F: 結合剤 EVA	78 (3.0)	65 (2.5)	52 (2.0)	g
G: 射出圧力	37.5	50.0	62.5	Mpa
H: 樹脂温度	425	453	473	K

() はwt%を示す

表2 L₁₈直交表への制御因子の割り付け

因 子	結 合 剤	可 塑 剤	滑 剤	結 合 剤	W A X	結 合 剤	射 出 圧 力	樹 脂 温 度	有機材料の 混合割合
	No	A	B	C	D	E	F	G	H
1	1	1	1	1	1	1	1	1	9.00
2	1	1	2	2	2	2	2	2	8.75
3	1	1	3	3	3	3	3	3	8.50
4	1	2	1	1	2	2	3	3	9.25
5	1	2	2	2	3	3	1	1	9.00
6	1	2	3	3	1	1	2	2	8.75
7	1	3	1	2	1	3	2	3	9.00
8	1	3	2	3	2	1	3	1	10.25
9	1	3	3	1	3	2	1	2	9.25
10	2	1	1	3	3	2	2	1	11.00
11	2	1	2	1	1	3	3	2	8.50
12	2	1	3	2	2	1	1	3	9.75
13	2	2	1	2	3	1	3	2	11.50
14	2	2	2	3	1	2	1	3	9.75
15	2	2	3	1	2	3	2	1	8.75
16	2	3	1	3	2	3	1	2	10.75
17	2	3	2	1	3	1	2	3	11.25
18	2	3	3	2	1	2	3	1	9.50

ここでは初期工程で最終製品を予測することおよび、現状の技術水準において最も重要視されている工程を考慮し、混練工程から選択した。具体的にはアルミナがロットによってばらついたとしても成形性の良い条件を見つけるために、また粒度の異なる混合粉体は粒子の充填状態および混合比により成形体の気孔分布が異なり、焼成後の気孔径分布なども変化することなどを検討し、アルミナの平均粒径とした。つまり有機材料と混練する主材料であるアルミナの総量を、平均粒径0.6μmを用いた場合をN₁、アルミナ総量の80%を平均粒径0.6μm、残りを平均粒径0.4μmとした場合をN₂とした。

3. 4 金型とキャビティー

実験に供した金型は2つのキャビティーから構成されている。今回の実験ではリブ構造を持つキャビティーを使用して射出成形を行い、転写性について検討した。また一方の立体斜め構造のキャビティーは、今回得られた最適条件を用いた射出成形を行い、得られた条件の構造の異なるキャビティーへ利用できるかの可能性について検討した。

3. 5 固定条件

実験に使用した混練機は、加圧型カップリング直結式混練機（山城精機）で混合容量3リットルのものである。また射出成形機は、立型射出成形機（山城精機）で最大型締め力55トンである。

実験の中で固定した条件は、混練前処理の材料攪拌にケンミックスミキサーによる攪拌条件、116rpm、1分間。混練条件では混練時間20分間、混練機のローター回転数43rpm、混練温度160℃及び加圧力3 kgf/cm²である。

セラミックス材料はアルミナと加えるバインダーの総量が2600gとなるようにアルミナの重量を各実験条件で変化させた。また成形時の金型温度は40℃一定とした。

脱脂条件は、100～500℃までは1時間10℃の緩やかな昇温速度とした。焼結条件は1500℃とした。

これらの各条件により作成した試料及び信号因子となる金型寸法をCNC三次元測定機（ミットヨ製FN704）で測定した。

4. 実験の方法

4. 1 混練特性の測定

混合攪拌したアルミナと有機材料をニーダ（混練機）に投入した後、混練時の抵抗力に相当するものと考えられるニーダ電流を連続記録した。測定方法はニーダ主軸にトルクメータを取り付け、混練トルク曲線として記録した。

4. 2 焼結品の寸法測定

試料の寸法測定は、基準面からの位置について、試験片1個につきX方向19カ所の上下2カ所、Y方向24カ所の上下2カ所、Z方向12カ所の左右2カ所、計110カ所を測定した。本実験では各行の誤差因子1個につきショット間の誤差を考慮して2個を試験片としているため、1行の測定箇所は440カ所である。

5. データの解析

品質工学では、製品性能の評価を行うためにデシベル値で表したSN比を用いて解析を行う。成形加工における転写性の観点では、金型と成形品の形状が相似形であることが理想であり、成形品寸法を y 、金型寸法を M としたとき $y = \beta M$ の関係で表すことができる。この関係式を基本にゼロ点比例式のSN比を求めた。今回の実験では L_{18} の各行それぞれ4個の成形品を試料としたが、成形不良のものや脱脂・焼結工程において破損したものがあつたため、測定データが得られない試料があつた。これらの試料のデータ処理として、測定できないところには0を代入してSN比を算出した。また全く成形できなかった行には求めたSN比の最小値に-3 dbを加算した。

各制御因子の効果を求めるため、制御因子の各水準毎のSN比の平均を求め、水準間の傾向を表したものが図2である。

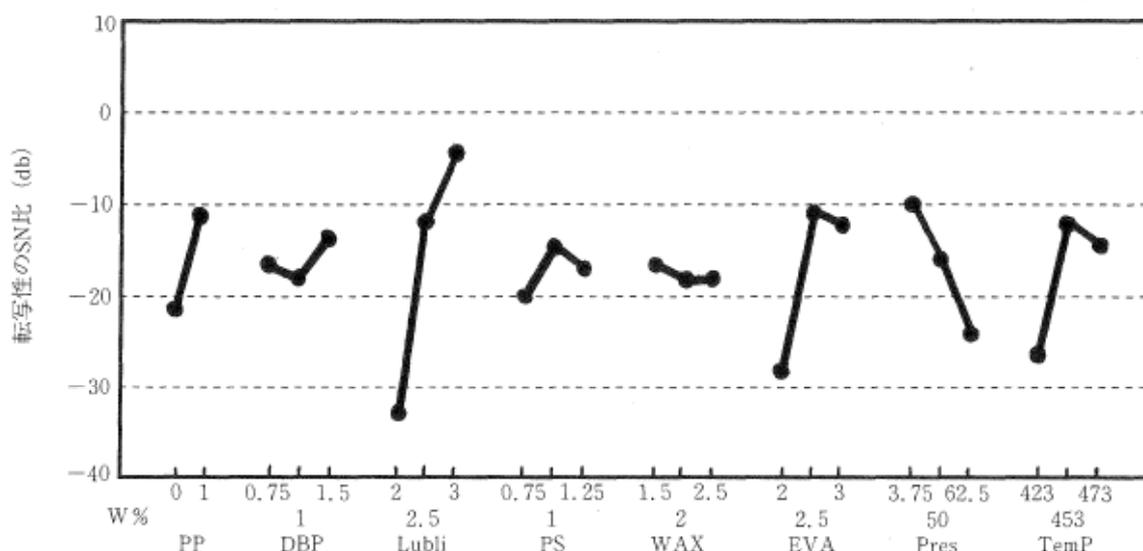


図2 制御因子毎の転写性のSN比の傾向

求めたSN比を分散分析し、成形条件の評価を行った。分析の結果、転写性への寄与率の大きいのは結合剤（A）と可塑剤（B）の交互作用及び滑剤であった。A×Bの交互作用についてSN比の平均値の傾向をみると、Aの水準によってBの効果の現れかたが異なることがわかった。また滑

剤の効果は、混合量が多くなるほどSN比が大きくなり、ばらつきが改善されることがわかった。

6. 最適条件の推定と確認実験

分散分析の結果から、各制御因子についてSN比の大きい水準の組み合わせにより、最適加工条件を推定する。但し、A×Bの交互作用の効果が大きかったことから、因子A、BについてはA₂B₃の組み合わせを最適水準とした。これから求めた最適加工条件のSN比の推定値は26.28db、また現行条件を第2水準としたときの推定値は11.48dbで14.80dbの利得となった。

実験結果の再現性を検討するために、推定した材料の組み合わせ及び成形条件を最適条件とし、現行条件は第2水準を採用して確認実験を行った。実験の結果、最適条件は現行条件に比べて、わずかながら転写性の向上がみられた。但し、推定値と確認実験では利得の一致は必ずしも良いとはいえない結果を得た。この原因としては前述したように、各行において測定できない試験片のデータの処理方法が影響したものと考えられる。

また今回のリブ付きモデル成形品の実験で得られた最適条件を用いて、木村ら¹⁾の実験に用いた立体斜め構造のモデル成形品を成形し、SN比の比較を行ったが、今回の実験の最適条件では19.77dbの結果が得られ、木村らの確認実験の結果である18.95dbより0.82db良い結果となった。これらのことから今回の最適条件が、別の成形品の最適条件として共通的に使用できる可能性が示された。

7. まとめ

今回の実験の結果、次のことが明らかになった。

- 1) 射出成形の転写性から判断すると、結合剤、可塑剤、滑剤の効果が大きく混合量が多くなるほどSN比は大きくなる。
- 2) 成形時の射出圧力は、低い方が転写性は良くなる。
- 3) 成形時の樹脂温度は高い方が転写性は良いが高すぎると悪くなり、最適温度が存在する。
- 4) バインダ比率とSN比の関係では、比率よりも種類（成分）の影響が大きい。
- 5) 混練工程では、有機材料の種類及び混合比率により混練状態も異なり、混練曲線は3通りに分類できる。
- 6) 今回の最適条件は成形品形状が変化してもある程度の適合性が確保できる。

今後の課題として、不完全データの解析方法についての検討が残された。

参考文献

- 1) 木村安広ほか：セラミックス成形における転写性の評価 成形加工（1992）P.297