金型表面処理工法によるプラスチックの成形性向上に関する試験研究事業

谷萩 雄一朗* 飯村 修志*

1. はじめに

プラスチックは、日用品、衣類、食品の包装材料な ど身の回りのあらゆるところに用いられており、必要 不可欠なものになっている¹⁾。茨城県はプラスチック 製造品出荷額が全国上位であり(都道府県及び政令市 別第3位、平成29年度経済産業省工業統計調査)、プラ スチック産業は県内の重要な基幹産業の一つとなって いる。近年では、軽量や低コストなどのプラスチック 素材の特徴を活かし、自動車などへの採用が進んでい る²⁾。

プラスチック部品の多くは、大量生産に適した射出 成形で製造される。射出成形は、プラスチック材料を 加熱筒内で可塑化溶融させ、金型内に射出し冷却固化 させる方法である。射出成形にて良品を得るには、金 型の特性や材料、成形条件などを組み合わせた知識や 技能が必要とされている³。

2. 目的

加熱筒で融解した溶融樹脂は,高温では粘性が低い 状態であるが,冷たい金型の表面に触れると瞬時に金 型表面と同じ温度まで冷却され,流動性を失う⁴⁾。そ のため複雑形状や微細形状の射出成形では,金型内に 樹脂が充填しきらない(流動性の不足),または金型 表面の微細形状が成形品表面に形成されない(転写性 の不良)などの成形不良が生じることがある。

金型表面に接触した溶融樹脂の急激な冷却を抑える 方法として、型閉前に金型表面を加熱する方法や金型 にヒーターを組み入れる方法などがあるが⁴⁰、本研究 では付帯設備が不要な断熱金型に着目し、金型表面に 処理層を設け溶融樹脂への熱の伝わり方を制御するこ とにより、溶融樹脂の急激な冷却を緩和して流動性を 保ち、成形性の向上を図ることを目標とした。

3. 試験方法

金型表面の処理層として昨年度は、PTFE、ポリイ ミド及び PEEK の樹脂製皮膜を対象とした。しかし樹 脂製皮膜は金型との接着性に課題があるため、今年度 は金型表面との接着性を考慮して、無電解ニッケルめ っき(ニッケルとリンの合金)に樹脂やセラミック粒 子を分散させた複合めっき(粒子分散めっき)を処理 層とした。分散粒子には、分散めっきとして一般に市 販されている PTFE、SiC 及び BN の3種類を選定し た。

処理層には断熱性の機能が求められ,溶融樹脂の冷 却を緩和し流動性を保つ役割を果たす。そこで処理層 を対象に熱の伝わりやすさを示す指標である熱拡散率 を測定するとともに,溶融樹脂の流動性を調べるため に金型を用いて流動長の比較試験を行った。 0.5 mm の SUS304 基板に対し,無電解ニッケルめっき を下地として $10 \mu m 成膜し$,その上に処理層として粒 子分散めっきを成膜した 3 層構造である。図 1 に断面 の模式図を示す。分散粒子の含有率は、PTFE は 30~ 35%、SiC は 2~20%、BN は 5~10%である。

<処理層>粒子分散めっき 10 µm <下地>無電解ニッケルめっき 10 µm <基材>SUS304 0.5 mm

図1 供試材の断面模式図

3.2 供試材の物性試験

処理層の成膜状況を確認し,熱拡散率を測定するため,供試材を用いた物性試験を行った。

①断面マクロ観察

供試材を樹脂埋め、研磨し、処理層の厚さや粒子の 分散状況の断面マクロ観察を行った。装置は株式会社 ハイロックス、KH-8700を使用した。 ②熱拡散率測定

供試材をスプレーで黒体処理し,基材を含めたみな し一層として熱拡散率を測定した。装置はネッチ・ジ ャパン株式会社,LFA467 Hyperflashを使用した。

3.3 流動長の比較試験

試験用金型を用いて、流動長の比較試験を行った。 本金型は一部が入れ子式で交換可能な構造になってお り,試験では処理層の異なる4種類(基材のみ, PTFE, SiC, BNの粒子分散めっき)の入れ子を用いた。図2 に金型の写真を,図3にキャビティの模式図を示す。 射出成形機は ROBOSHOT α-S100iA (ファナック株式会 社), 樹脂ペレットはプライムポリプロ J-750HP (株式 会社プライムポリマー)を使用した。表1に成形条件 を示す。成形は流速制御で充填し、射出速度10,50, 100 mm/s とした。VP 切替は、いずれの射出速度でも圧 力80 MPaと統一した。図4に、基材のみの入れ子を用 いて射出速度100mm/sで成形した時の射出圧やスクリ ュー速度などの成形パラメータを記録したグラフを示 す。成形品質の安定化を図るため、同じ条件で成形し た20ショットを捨てショットとし、21ショット目の 流動長を測定した。測定には、Smart Scope ZIP 300 (QVI 社,非接触三次元測定機)を用いた。

3.1 供試材

物性測定用の供試材は,縦 10 mm×横 10 mm×厚さ

茨城県産業技術イノベーションセンター研究報告 第47号





40 秒

3.4 粒子分散めっきの断熱効果の推定

冷却時間

金型に粒子分散めっきを用いた際の断熱効果を高め るため、伝熱シミュレーションを用いて処理層の厚さ や含有率を検討した。図5に解析モデルを示す。樹脂 層、処理層、下地層及び基材層の4層構造とし、簡易 的に2次元解析とした。モデル幅は100 μ m とし、厚 さは樹脂層及び基材層を100 μ m,処理層を10,30 μ m,下地層を5 μ m とした。樹脂層の物性値は固体 のポリプロピレン(PP)とした。溶融樹脂が固化する 際には、固液別の物性値や相変化のエンタルピーが必 要となるが、本解析では無視した。処理層内の粒子を 集合体とみなし $\Phi8\mu$ m の円として近似した。粒子に は熱が伝わりにくいと仮定し,解析モデルでは孔とし て除外した。孔の個数を変更することにより空隙率を 調整し,空隙率 0%,25%及び 50%をモデル化した。 図 5 に,厚さ 10 μ m 処理層のモデルを示す。厚さ 30 μ m ではこれらを縦に3行分作成した。処理層の母材 及び下地層の材質は,無電解ニッケルめっきとした。 また基材層の材質は SUS304 とした。表2にシミュレ ーションに用いた密度,比熱及び熱伝導率を示す。な お表2には、これらの物性値から式(1)により求めた熱 拡散率を併せて示す。

$$a = \frac{k}{\rho c} \times 10^{\delta} \cdots (1)$$

a : 熱拡散率 [mm²/s]
k : 熱伝導率 [W/(m・C)]
 ρ : 密度 [kg/m³], c : 比熱 [J/(kg・C)]

境界条件は、溶融樹脂が流動して熱が継続して供給 されるため樹脂層の上端を 200℃とし、金型が一定温 度で温調されるため基材層の下端を 40℃とした。初期 条件は樹脂層を 200℃,処理層、下地層及び基材層を 40℃とした。解析には Autodesk Simulation Mechanical 2017(オートデスク株式会社、構造・伝 熱解析ソフトウェア)を使用し、100 ms 間の時刻歴 解析を行った。



項目	固体 PP	無電解ニッ ケルめっき	SUS304
密度 [kg/m ³]	929	7,900	8,000
比熱 [J/(kg・℃)]	3,100	460	500
熱伝導率 [W/(m・℃)]	0.15	4.4	16.2
(参考) 熱拡散率 [mm ² /s]	0.052	1.21	4.05

表2 解析に用いた物性値

4.研究結果と考察

4.1 供試材の物性試験

①断面マクロ観察

図6にマイクロスコープの観察結果を示す。左から 順に、基材層(SUS304)、下地層(無電解ニッケルめ っき)、処理層(粒子分散めっき)である。処理層は 含まれる粒子の種類により、設計値の10 μ mに対して 厚さ6~13 μ m(4割減~3割増)とバラツキがある。 対して下地層は厚さ9~11 μ m(1割の増減)とバラツ キが少ない。粒子分散めっきは、めっき工程における 成膜時間による厚さの制御がしにくく、反対に無電解 ニッケルめっきは厚さの制御がしやすいことが分かっ た。また PTFE は厚さ6 μ mと薄いため、入れ子に成膜 した処理層も薄い可能性がある。



②熱拡散率測定

表3に,基材を含めたみなし一層の熱拡散率の結果 を示す。熱拡散率は低い順にPTFE, BN, SiC となった。 処理層に含まれる分散粒子の熱拡散率はそれぞれ, PTFE は 0.10~0.11 mm²/s⁵⁾, BN は 42 mm²/s^{6,7)}, SiC は 77 mm²/s⁸⁾であり,分散粒子の熱拡散率の低い順に 供試材の熱拡散率も低く、分散粒子の熱拡散率の違い を確認できた。

表 3 熱拡散率測定結果(単位:mm²/s)

	粒子の種類	熱拡散率
処理層 あり	PTFE	3.80
	SiC	4.17
	BN	3.87
基材のみ		4.05

4.2 流動長の比較試験

図7に流動長試験片の例として,基材のみとPTFEの写 真を,図8に4種類の入れ子を用いた試験での流動長の 比較を示す。流動長は、すべての入れ子にて射出速度 が速いほど長くなったが、これは射出速度が速いほど 溶融樹脂が冷却されるまでの時間に流れる長さが増加 するためである。入れ子の処理層による比較では、す べての射出速度にて基材のみが最も流動長が長い。従 ってこの実験からは、処理層を施すことによる流動長 の向上効果は得られなかった。これは処理層を成膜し たことによりキャビティの厚さが薄くなること、及び 処理層表面の面粗さにより溶融樹脂が流れる際に抵抗 を受けることが原因と考えられる。3種類の分散粒子 処理層を比較すると、PTFEの流動長が最も長い。表3 より、PTFEの熱拡散率が最も低く溶融樹脂が冷却され にくいためと考えられる。またPTFEについては、断面 マクロ観察の結果より膜厚が薄く十分な効果が得られ ていない可能性がある。



図7 流動長試験片の例 (基材のみ及びPTFE, 射出速度100 mm/s時)



茨城県産業技術イノベーションセンター研究報告 第47号

4.3 粒子分散めっきの断熱効果の推定

図9に、処理層の厚さ10µm、空隙率0%の条件での樹 脂層の時系列温度分布のシミュレーション結果を示す。 この結果より、溶融樹脂は処理層近傍から冷却される ことが分かる。また、一般にPPの融点が125℃とされて いるため、シミュレーション結果における樹脂層の温 度が125℃以下の領域を固化層とみなした。図10に処理 層の厚さと空隙率の違いによる固化層の形成状況を示 す。図10にて固化層の厚さが30µmに到達する時間を図 11に示す。この結果を見ると空隙率が大きいほど到達 時間は遅くなることが分かった。また処理層の厚いほ うが到達時間が長い。これより空隙率や処理層厚の増 加により固化層の形成が遅くなり、処理層の断熱性が 高まることが分かった。空隙率の比較では、空隙率0%







固化層の形成を遅くするためには分散粒子の割合が 25~50%程度必要と推測される。本研究で用いた粒子 分散めっきに含まれる分散粒子の割合は最も高い PTFEでも30~35%であり、より高い効果を得るために はさらに含有率を高めて成膜することが必要である。

5. まとめ

- ①金型との接着性に優れ、かつ熱の伝わり方を制御可能な処理層として粒子分散めっきを選定した。供試材の熱拡散率からは処理層を施すことにより断熱性が向上することが示唆された。
- ②粒子分散めっき処理層を作製した入れ子を用いて流動長の比較試験を行った。その結果、処理層を作製した入れ子では熱拡散率の最も低いPTFE処理層にて流動長が最も長くなったが、処理層を作製しない入れ子と比較して、流動長を向上させる効果は確認できなかった。

6. 今後の課題

シミュレーション結果より,処理層により溶融樹脂 の固化層の形成を遅らせるためには,粒子分散めっき の粒子割合を高めるか,処理層を厚くすることが効果 的と示唆された。従ってそれらの対策を図る予定であ る。また流動長の比較試験では,固化層による流動長 への影響を精度良く比較できるよう,成形条件の最適 化を行う予定である。

7. 参考文献等

- プラスチック成形品の高次構造解析入門,一般社団 法人プラスチック成形加工学会
- 2) 日本プラスチック工業連盟 http://www.jpif.gr. jp/2hello/conts/colum_c.htm
- 3) 図解入門 現場で役立つ射出成形の基本と仕組み, 株式会社秀和システム
- 新成形技術 ウエルドレス・高転写成形技術と応用 展開,秋元技術士事務所 秋元英郎 http://www. cea.or.jp/dcument/z230803.pdf
- 5) 株式会社KDA, https://www.kda1969.com/ materials/pla_mate_ptfe2.htm
- 6) 日立化成株式会社, http://www.hitachi-chem.co. jp/japanese/report/053/53.pdf
- 7) 黒崎播磨株式会社, https://krosaki-fc.com/ ceramics/machinable.html
- 8) アスザック株式会社, http://www.asuzacceramics.jp/material/material2.htm