低圧射出成形品における表面品質へのキャビティ/コア型温度差および粗度差の影響

石 見 浩 之^{*1}・Yew Wei Leong^{*2}・濱 田 泰 似^{*2}

The Surface Quality of Low-Pressure Injection Molded Articles Obtained by a Cavity/Core Mold Pair Given a Difference in Temperature and/or Surface Roughness

Iwami, Hiroyuki^{*1}/Yew Wei Leong^{*2}/Hamada, Hiroyuki^{*2}

In injection molding, it is important to manage the surface related problems of molded articles. A trial has been reported on managing sinkmarks concentrated to the one-sided surface of moldings through giving a mold temperature difference. Our experiment here was conducted for clarifying how the uneven sinkmark development influenced the surface transfer, under the combined conditions of a low injection pressure with a given difference in temperature and roughness in the mold having mirror-cavity and rough-core surface. The evaluation was performed by glossmetry at the cavity side and by volumetry of sunk-space at the core side.

Key words : Low pressure injection molding/Surface gloss/Sinkmark/Solidified layer/Cooling rate

1. ま え が き

射出成形品においては外観品質は重要な特性の一つである。外観品質を低下させるものとして、充填時の早期固化層に起因する転写不良、ウェルドマーク等や不完全な収縮補償に起因するヒケ問題がある。これらを改善あるいは抑止するため、一般に高温、高圧下で成形が行われるが、このような条件はバリ、ソリ、変形等の新たな不良を誘発する恐れがある。このため、例えばヒケの解決手段として、低圧発泡成形法¹⁾、シンプレス成形法²⁾、MuCell 成形法³⁾断熱金型⁴⁾等が提案されているが、コスト面あるいは取り扱いの複雑性等から汎用的な技術とは言いがたい。新しい試みとしてキャビティ型（低温）、コア型（高温）に温度差を設けてヒケの発生を片面に偏在させ、反対面の外観はきれいな転写面を得ようとする研究がある^{5), 6)}。この研究によると、温度差成形によるヒケの偏在化とその発生位置は、

樹脂両サイドの冷却速度差による固化層の剛性分布が大きく関与して高温側に発生し、高温壁温度が樹脂の Tg 以上に高くなるとヒケの発生位置は低温側に移動することが報告されている。

我々は、剛性分布の発生は金型壁面温度差のみならずたとえば相対する金型表面が鏡面とブラスト面のように粗度が異なる場合、低圧充填時の樹脂の型面との接触面積は粗面側が少ないことが予想され、その結果樹脂両サイドの冷却速度差が起り得ると考えた。さらに低圧充填の場合、樹脂と型粗面間には空気が介在しさらに温度差形成の効果が促進することが考えられる。

そこで本研究では冷却ヒケの偏在現象/微細転写性、両型面の粗度差の関係把握を目的に、鏡面キャビティ/研磨仕上げコアセットを組み込んだ板状成形品型で、低圧条件を主体に種々の温度を組み合わせた温度差成形を実施した。微細転写性および冷却ヒケ偏在度の評価は成形品キャビティ面の光沢度とコア面のヒケ量を計測して行った。得られた結果から型面微細転写への影響因子やヒケの片面偏在要因について考察した。

2. 実 験

2.1 射出成形一成形条件と金型構成

本研究で用いた金型は製品部として左右対称 2 組のキャビティ/コアセットが設けられサイドゲート標準 2 枚金型

^{*1} リック モールド ラボ
大阪市都島区中野町 5-14-3-812 (〒534-0027)
WRIC MOLD LAB.
5-14-3-812 Nakano-cho Miyakojima-ku Osaka 534-0027 Japan
^{*2} 京都工芸繊維大学大学院
京都市左京区松ヶ崎橋上町 (〒606-8585)
Advanced Fibro Science Kyoto Institute of Technology
Matugasaki, Sakyo-ku, Kyoto, Japan 606-8585
2009.11.25 受理

Fig. 1 A Cross sectional showing of cavity composition in the experimental mold

で構成されている。この実験ではその片側のみを使用した。図 1 にキャビティ部構成図を示す。キャビティブロックおよびコアブロックは入れ子方式により、それぞれキャビティプレートとコアプレートに組み込まれている。各ブロックはヒーターを内蔵し、組み込みプレートとの当たり面に部分的ギャップを設けて断熱性を確保した。両プレートには水冷式温度調節回路を設け 40℃ に設定した。S 55 C 材質よりなる角状キャビティブロック（寸法 120 mm×92 mm×30 mm）の製品形状面は鏡面研磨され（表面粗さ；0.02 μmRa，小坂研究所，表面粗さ計モデル 3 FK にて測定），平面パーティング面を形成している。製品コア面を形成する同じく S 55 C 材質よりなる角状コアブロック（96 mm×68 mm×30 mm，製品面と同寸法）の製品面は平面研削され（表面粗さ；0.97 μmRa），パーティング面より 2 mm 沈めて設置されている。

射出成形機は東芝機械製 80 ENP を用い，成形材料は（株）UMG ABS 3001 M を使用した。表 1 に成形条件表を示す。成形条件の内，変動要因として①キャビティブロック温度，②コアブロック温度，③保圧を選定し，他の条件は固定値とした。

2.2 成形品の評価

2.2.1 光沢度の測定

堀場製作所製光沢度計，グロスチェッカー IG 330 を用いて，反射角 60 度にて光沢度測定をおこない成形品の外観を評価した。

2.2.2 成形品のヒケ量測定

コア面ヒケ量を測定した。図 2 に塗布ペースト掻き取り模式図を示す。40℃ の枠板と接する成形品の外周部は早く冷却し，外周面はバラツキが比較的少ない厚み寸法となる。成形品のヒケ面にペーストを塗布し，この成形品の端に掻きとり器（スキージー）を当て，外周面に沿ってスライドさせて余分のペーストを掻き取った。なお掻き取り器としては同一条件の成形品を使用した。図 3 にコア側ヒケ面のペースト塗布前後の写真を示す。塗布前/掻き取り後の重量差から付着ペーストの体積を求め，ヒケ量とした。使用したペーストはベビーパウダーをエチレングリコールで練ったもので密度は 1.64 であった。

キャビティ面ヒケ量についてもコア面と同様に測定した。図 1 に示す如く成形品部外周を構成する枠板はベース温度と同温の 40℃ の固定温度に設定されている。枠板と接する外周部の充填メルトは，早期に冷却されるためキャビティ温度にほとんど関係なく成形品キャビティ面外周に

Table 1 Molding conditions for the experiment

Resin temperature (°C)	220
Mold base temperature of cavity-/core-block (°C)	40
Cavity-block temperature (°C)	55, 70, 85
Core-block temperature (°C)	55, 65, 75
Injection pressure (MPa)	90
Injection rate (cc/sec)	34
Injection time (sec)	1
Holding pressure (MPa)	0, 20, 40
Pressure holding time (sec)	2

Fig. 2 A sketch of squeezing for removing surplus paste

Fig. 3 Photographs of sinkmarks developed at the core-side surface of a molded article

沿って薄くヒケが発生した。また条件により目視では前記外周部の薄いヒケ以外，全面にヒケの認められない表面でも掻き取り面積が広いと，押し付けが弱いと僅かにペーストが残るし，強い場合は製品面にスキージーによる傷が発生する等精密な掻き取りが困難であった。上記の意味から外周ヒケは本実験の対象外としたが，キャビティ面ヒケ量から除外できなかったため，キャビティ面ヒケ量計測データは参考値とするに留めた。

2.2.3 ヒケ面ペースト付着量の測定精度

同一の成形品試料（12.36 g）に対しコア面に塗布，掻きとり，付着量測定，コート水洗除去，乾燥のプロセスを 3 回繰り返した結果，付着後の成形品重量は 13.53 g，13.55 g，13.54 g が得られ，付着量のバラツキは付着量平均値の ±0.8% であった。コア面では比較的精度の高い測定が達成できた。

2.2.4 成形品密度の計測

島津製作所製アキュピック 1330 にて成形品密度を計測した。

3. 結果と考察

3.1 光沢度

成形条件組み合わせ実験のキャビティ面光沢度測定結果を

図4～6に示す。

グラフから読み取れる要点は次の4点に集約される。

- ①キャビティ温度が高くなるほど、および保圧が高くなるほど光沢度は高い値を示した(図4)。
- ②コア温度が変化しても光沢度はほとんど変わらない(図5)。
- ③保圧が上昇するほど、かつキャビティ温度が高くなるほど、光沢度は上昇するが、キャビティ温度85℃では保圧の変化に関係なく本実験での最高光沢度86に達した(図6)。
- ④但し上記②、③はコア温度55℃ および/または保圧0 MPa では光沢度はやや低下した。

以上の結果を簡単に総括すると、実験で試みた変動要因の

内、光沢度に強く影響した要因はキャビティ温度と保圧が挙げられる。コア温度の影響はおおむね微小で、光沢度に対する低圧条件下での温度差成形の有効性は認められなかった。しかしキャビティ温度が高い85℃ 場合には保圧0 MPa でも高い光沢度に達しており、従来の型表面転写の概念とは異なった現象が認められた。この点についてはヒケ量の考察と併せて検討する。

次に個々の組み合わせ条件の光沢度への影響について考察すると、キャビティ型が高温になるほど、充填過程のメルト表面に形成されるスキン層は薄く、また保圧が高くなるほど型内圧上昇による型面への押圧が増す。これらが総合してキャビティ温度×保圧の光沢度への影響が大きくなっ

Fig. 4-1 Holding press. 0 MPa

Fig. 4-2 Holding press. 20 MPa

Fig. 4-3 Holding press. 40 MPa

Fig. 4 Relationship between gloss and the combined molding conditions of cavity-/core-block temperature

Fig. 5-1 Cavity temp. 55°C

Fig. 5-2 Cavity temp. 70°C

Fig. 5-3 Cavity temp. 85°C

Fig. 5 Relationship between gloss and the combined molding conditions of core-block temperature/holding pressure.

Fig. 6-1 Core temp. 55°C

Fig. 6-2 Core temp. 65°C

Fig. 6-3 Core temp. 75°C

Fig. 6 Relationship between gloss and the combined molding conditions of holding pressure/cavity-block temperature

たものと考えられる。型表面転写は温度、押圧、押し付け速度等型表面/樹脂界面に係る影響因子に依存し、コア温度の光沢度への影響はほとんど現れていない。キャビティ温度 85℃ および低圧充填の条件下で最高光沢度を達成したことに関しては、メルトを型面に強く押し付けて転写させ、冷却による収縮を保圧工程で補うという通常成形プロセスでは説明が困難である。従って温度差成形においては通常成形法と異なった転写のプロセスが作用している可能性がある。また、キャビティ温度 85℃ の条件下でもコア温度 55℃、および保圧 0 MPa 条件下では光沢度がやや低下した点についても、この特異な現象との関連性も考えられる。これらの点については次節のコア面ヒケ量の考察と併せて検討したい。

3.2 コア面ヒケ量

3.2.1 実験結果とヒケ偏在メカニズム

成形条件の組み合わせによるコア面ヒケ量（以後略してヒケ量という）の測定結果を図 7～10 に示す。これらの図より以下の内容が読み取れる。

- ①ヒケ量はキャビティ温度が低いほど、かつコア温度が高ほど増加する（図 7、図 9）。特にコア温度最高時にキャビティ温度の影響が最もよく現れる（図 9）。
- ②ヒケ量はキャビティ温度、コア温度の如何に関わらず保圧の上昇と共に低下する（図 8）。
- ③ヒケ量はコア温度が低いほど、かつキャビティ温度が高いほど低下する（図 10）。
- ④コア温度 75℃、キャビティ温度 55℃、保圧 0 MP 条件下でヒケ量最大値 0.152 cc を示し、ヒケ最大成形品体積 11.86 cc の 1.3% に相当する。またこのヒケ最大成形品体積はキャビティ容積 12.43 cc の 95.4%、即ち体積収縮率 4.6% であった。またこの条件のヒケ量 0.152 cc に対応するキャビティ面ヒケ量は 0.02 cc（参考値）を示した。
- ⑤コア温度 55℃、キャビティ温度 85℃、保圧 0 MPa 条件下でヒケ量最小値 0.073 cc を示し、ヒケ最小成形品体積 11.86 cc の 0.6% に相当する。

ヒケ量はキャビティ温度、コア温度の如何に関わらず保圧の上昇と共に低下したこと（図 8）に関し、保圧 0 MPa 成形品と 40 MPa 成形品の密度測定値はそれぞれ、1.045 g/cc と 1.047 g/cc で僅差であった。従って保圧の増加によるヒケ量の減少は成形品密度の増加ではなく、主として

Fig.7 A solid figure showing the relationship between the amount of sinkmark and combined molding conditions of cavity-/core-block temperatures.

充填量の増加が関与しており、ヒケの発生には低い型内圧が必須条件であることが伺われる。

キャビティ型/コア型の温度差付与成形を行うと、型内充填樹脂の冷却挙動に影響を及ぼし、キャビティ温度が低いほど、コア温度が高いほどヒケ量が増加する。この温度条件および低圧条件下でヒケ量は最大値に達しコア面に集

Fig.8 Relationship between the amount of sinkmark and the combined molding conditions of holding pressure/core-block temperatures.

Fig.9 Relationship between the amount of sinkmark and the combined molding conditions of core-/cavity-block temperatures.

Fig.10 Relationship between the amount of sinkmark and the combined molding conditions of cavity-/core-block temperatures.

中する。かつキャビティ面は型面を転写した成形品が得られた。この原因は黒崎ら⁶⁾によると次のように説明されている。高温側へのヒケの集中は樹脂表層部付近に成長する固化層の厚さ分布（剛性分布）と樹脂/金型表面間の粘着力に支配され、金型内樹脂中央部の未固化部分が冷却固化する際の熱収縮応力が変形に対する耐性の弱い高温側の表面を大きく変形させ、結果としてヒケは高温側の表面に大きく偏って発生する。

その発生メカニズムをさらに詳しく検討すると次のようになる。充填メルトが温度や粗度等、不均衡な両型面と接触した時、キャビティ型面での瞬時の放熱や付着力がコア型面より勝る差異を生じさせることにより、その差異がメルトを一方方向に移行させトリガーとなりキャビティ型面では樹脂との接触を保ったまま放熱が進行し、一方コア型面では接触の疎化が進み、さらには空気境界膜が形成されて放熱は鈍化し高温が保持される。このように形成される温度差によって、メルトの冷却固化はキャビティ側表面から始まりコア側面に向かって一方方向的に進行し、コア側高温メルトはキャビティ側の収縮分を補いながら凝集力の大きいキャビティ側に引かれて移行する。その結果、収縮分がコア面に材料不足のヒケとして集中する。このプロセスではメルト/コア型面での早期の接触疎化や空気境界膜の形成が重要な役割を演じ、前者にはキャビティ型温の低温化によるトリガーの強化やコア型温の高温化が、後者にはコア型面粗化が有効な促進手段と考えられる。

3.2.2 実験型に内在する収縮ヒケのコア側偏在化要因

収縮ヒケの偏在化がキャビティ側あるいはコア側のどちらに発生するかは充填メルト/両サイド不均衡型面の接触瞬時の付着力や放熱の優劣によって決まる。キャビティ温度 85℃、コア温度 55℃ はコア側をヒケさす目的からは逆の条件であり、収縮のメカニズムから考えて、キャビティ側にヒケが偏る筈である。にも拘わらずこの温度条件および保圧 0 MPa 条件下でコア面ヒケ量 0.073 cc、キャビティ面ヒケ量 0.03 cc（参考値）を示し、コア側のヒケが大きく勝っている。この現象は、ヒケがコア側に偏る別の要因が本実験型に内在しているためと推察される。その原因として次の 2 点が想定できる。①本実験型は鏡面キャビティ/研磨面コアで構成され型面粗度が異なることと②金型の構成、特にゲート位置が成形品厚みのキャビティ側に片寄っていること（図 1 参照）である。前者では低压成形条件下でのコア粗面とメルトとの接触面積が少なく、また空気境界膜が形成されやすいことや、後者では型内流動の中心線がキャビティ側に偏りゲート近傍のコア側に発生するキャビティ角部空間（デッドスペース）の影響でメルト/コア界面に空気境界膜が出来易いことが想定できる。これらの潜在条件のため、前記温度設定では実質的には逆転条件に至っていないものと思われる。

3.2.3 コア面ヒケ偏在と光沢度（表面転写）の関連性

コア温度 65℃ 以上、キャビティ温度 85℃ で保圧に関係なく最高光沢度の結果が得られている。この理由として、まずは 85℃ の型面（鏡面）とメルトの接触は前出黒崎ら⁶⁾の説明にある粘着性、言い換えれば“ぬれ性”の影響によるものと説明できる。ぬれ性は樹脂の Tg 近辺から発現し接触界面でのメルトの表面張力に係わり、界面温度が高い

ほどメルトの表面張力は低下しぬれ性が増す。このぬれ性による転写、即ち“ぬれ転写”はメルトが微細部に浸透してゆく転写で、従来の圧力転写とは異なった転写メカニズムである。このため、ぬれ転写では極低压で高压転写に勝る微細転写が可能である⁷⁾。キャビティ側メルトは型鏡面との一部ぬれ付着による高転写面を維持したまま、その冷却収縮分をコア側高温メルトで補給されながら低い放熱抵抗下で一方方向的に冷却固化が進行する。結果としてコア面にヒケの集中が起きる。

尚コア温度が低くなると（55℃）光沢度がやや低下するのは次のように考えられる。低いコア温度のため総体的にメルト粘度が高くなり①初期転写が不十分なことと②流動性低下によるキャビティ面の収縮補償が不十分で転写面にヒズミが発生することの両原因が重なった結果と思われる。

4. おわりに

温度差成形の転写、冷却収縮への影響把握を目的として低压成形条件下でキャビティ型/コア型の温度差成形を行い、成形品の光沢度とコア面ヒケ量を調べた。メルト両サイドの温度差を駆動源として収縮ヒケの偏在化がおこることが確認された。ヒケ量はコア型温度が高いほど、かつキャビティ温度が低いほど、加えて低压条件やメルトの流動性等との相乗効果としてヒケの偏在化現象が発現することが解った。また樹脂両サイドの温度差形成要因として、キャビティ型/コア型の不均衡な型温度や型表面粗度以外に樹脂/型表面界面での空気境界膜の影響が特に低压条件下で大きいことが判明した。キャビティ温度が 85℃ では“ぬれ付着”が発現し、コア温度 55℃ 以外の全ての条件下で最高光沢度 86 が達成された。ぬれ転写の場合光沢度は樹脂とキャビティ型面の初期接触で決定され、温度差効果も加わって保圧、コア温度に関係なくその初期転写面が保持され、そのまま冷却に至ると解釈される。

コア温度 55℃ で光沢度がやや低下するのはメルト温度の低下によるメルト粘度の上昇が型面の初期転写や冷却収縮の偏在化に影響したためであろう。

また本実験では鏡面キャビティ/研削面コアの組み合わせや、成形品厚みに対しゲート位置が偏ったことなど、各種のデータが交錯し、現象を正確に理解する上で若干問題があった。これらを考慮した改良実験を含め、さらに成形品表面の改善課題に取り組む所存である。

参 考 文 献

- 1) Greenberg, W. H. : U. S. Pat., 3, 928, 518 (1975)
- 2) Yamazaki, K., and Watanabe, T. : U. S. Pat., 4, 923, 666 (1990)
- 3) Suh, N. P. : Innovation in Polymer processing ,chapter 3 Hanser, (1996) Gardmer Publications, Inc.
- 4) 石見浩之, 福岡正義, 金山浩之 : 成形加工シンポジウム'94, 52 (1994)
- 5) 黒崎安夫, 龍腰健太郎, 佐藤勲 : 成形加工, 2, (6), 505 (1990)
- 6) 黒崎安夫, 佐藤勲, 齊藤卓志 : 成形加工, 8, (2), (1996)
- 7) 石見浩之, 大野雄三, 福岡正義 : 型技術, 12, (1998)