同時複合射出成形法を用いた二層成形品に関する基礎研究

浅井 真吾*・高島 奨*・濱田 泰以*

Fundamental Study of Two Layer Molding by Simultaneous Composite Injection Molding

Asai, Shingo*/Takashima, Susumu*/Hamada, Hiroyuki*

Two layer injection molded parts in which the top and bottom layers were composed of either different materials or of the same material but with different colors were fabricated on a simultaneous composite injection molding machine. The effects of gate shape and processing conditions such as cylinder temperature and injection rate in obtaining uniform equal thicknesses for the two layers were examined. At the gate the interface between the two layers should be maintained horizontally. Low cylinder temperatures and injection rates were found suitable, because shear flow could be generated at the interface.

Key words : Two layers composite injection molding/Simultaneous composite injection molding/Gate shape/Runner shape/Injection rate/Injection temperature

1. 緒 言

射出成形品は、近年様々な分野で使用されている。射出成形品に対するニーズは、低コストで高品質な製品や新機能を付加した製品に使用されるなど多岐にわたっている。このニーズを満足するために、多くの射出成形技術が開発され、種々の射出成形品が出現している。その中でも、複数の樹脂を用いた射出成形品は、自由形状を確保した上での色付け・光沢付けなどの意匠性の向上や複数樹脂の特性を同時に利用した感触性・磨耗性・剛性などの機能性の向上が可能である。

この複数の樹脂を用いた射出成形品を製作する代表的な射出成形法としては、インサート成形法あるいは二色成形法などの複合成形法がある。しかし、インサート成形法では、金属または他樹脂部品の製作工程や金型内への挿入工程、二色成形法では一次射出成形品製作工程というように、加工方法として二工程以上を要する。これらの成形法では、射出成形法が持つ一工程での金型内への樹脂流入での複雑

形状形成という有効性が失われている。

一方、複数樹脂を一工程での射出成形で一成形品に形成する複合射出成形法には、代表的成形法として共射出成形法 (co-injection) がある。共射出成形法は、1970 年代の初めにイギリスの ICI 社で最初に開発され、近年一般的な成形法の一つになってきている。共射出成形法においては、一次射出と二次射出の開始時間をわずかにずらし、共通ゲートを用いることによって一次射出材 (スキン材) に二次射出材 (コア材) が潜り込んだサンドイッチ構造を有する成形品を製作することが可能である。二種類またはそれ以上の材料を同時に用いるこの成形法は、サンドイッチ射出成形法という名前でも知られている^{1)~11)}。

また、異なるシリンダーから2つの材料を交互に射出して新しい意匠価値や性能を持つ成形品を製作する二色成形法では、樹脂間の接合強度に課題がある。その解決策として、接合面に凹凸形状のアンダーカットを施しているのが現状である。樹脂接合強度の更なる向上のためには、2つの樹脂が熔融状態で接合面を形成することが有効であると考えられる。これを実現するために筆者は、同時複合射出成形法 (Simultaneous Composite Injection molding ; SCI molding) を提案した¹²⁾。

この成形法の優位性を示す研究として、異なる2機の射出シリンダーから同時に1つの金型キャビティ内に射出し射出成形品を製作し、その樹脂間の接合強度と界面形状制

* 京都工芸繊維大学大学院先端ファイブ科学専攻
京都市左京区松ヶ崎御所海道町 (〒606-8585)
Division of Advanced Fibro-Science, Kyoto Institute of
Technology
Matsugasaki, Sakyo-ku, Kyoto 606-8585, Japan
2004.5.10 受理

御を検討した結果、従来の二色成形品と比較してより高い強度のウエルド接合界面を得られることを確認している。また、射出開始時間をずらし、共通のゲートより樹脂を流入させることにより、サンドイッチ成形品が得られることも確認している。更に、並列したゲートより同時に樹脂を流入させることにより、界面強度の高い二色成形品が得られることなど、本成形法には多くの可能性があることを認識している。

本研究では、成形品断面が表面層と裏面層の二層からなる二層状複合成品を製作する成形方法の可能性に着目し研究を開始した。本報告においては、同時複合射出成形法を用いた二層状複合成品の射出条件解明を行い、二層状複合成品断面が表面層と裏面層でほぼ均等肉厚に製作可能となる射出成形条件や金型構造および内部流動状態に関する考察を行った。

2. 同時複合射出成形法 (SCI molding)

異なる2機の射出シリンダーから同時に、1つの金型キャビティ内に樹脂を射出し、成形品を得る同時複合射出成形法概念図を図1-aに示す。本成形法を用いた二層成形法は、図1-aに示す異なる2機の射出シリンダーから同時に射出された樹脂を図1-bに示すそれぞれランナーAおよびBに供給し、金型パーティングライン上のランナー交差部で合流させる方法である。合流部で形成された二層状態の境界面を保持しながら射出し、金型キャビティ内に樹脂を充填する。

この概念により二層射出成形品を製作するためには、金型パーティングライン上のランナー交差部において、合流する2つの樹脂境界面をどのようにして二層状態とするか、更に合流した樹脂をそのままの二層状態で金型キャビティにどのように充填するかが課題となる。前者には、樹脂のランナー形状が大きく影響していると考えられる。また後者には、樹脂を金型キャビティ内に安定した状態で射出し流入させていくことが必要となる。そのため、特に射出率、射出樹脂温度などの射出成形条件因子がその鍵を握っているものと考えられる。

3. 実験方法

3.1 金型ランナー・ゲート形状の影響

図2に、本実験で使用した金型のキャビティ形状およびランナー形状を示す。ランナーAは固定側、ランナーBは可動側に設置してある。金型構造としては、図中斜線の

Fig. 1-a Schematic diagram of SCI molding

樹脂合流部とゲート部が入れ子となっており、種々の形状に変更可能である。そこで本研究では樹脂合流部を、図3に示すような4種類とした。

ランナー形状1は、2つのランナー合流部が曲率半径25 mmを有しており、合流部の断面(図中矢印で示した断面)

Fig. 1-b Schematic diagram of two layer molded parts in SCI molding

Fig. 2 The cavity and runner shapes

Fig. 3 The runner shape in partion part

Fig. 4 The cavity and runner shapes of two layer molding

は図中に示すようにずれていることになる。ランナー形状2は、前述のランナー形状1のランナー合流部に断面積を縮小する突起を設けた形状となっている。ランナー形状3は、ランナー形状1のランナーA、B間に仕切り板を設けた形状である。断面は図に示すようにランナー形状1と同様にずれているが、仕切り板があるために2つの樹脂はここでは合流しておらず、ゲート部で合流することになる。ランナー形状4は、ランナー形状3と同様に仕切り板を設けた場合であるが、ランナーの曲率は0、すなわち直角形状である。

また、ゲート形状とその厚みの影響について評価を行うために、ゲート部形状にはフィルムゲートとファンゲートの2種類を用い、厚みはそれぞれ1mm、3mmの2種類とし、この組み合わせの合計4種類とした。これらの金型を用いて、二層射出成形品が製作できるかどうかを検討した。

使用した樹脂はABS樹脂（トヨラック500，東レ(株)）である。なお、二層状態の確認のため、射出シリンダーBに供給する材料は黒色に着色して実験を行った。実験には、異なった2機の射出シリンダーを有し、それぞれの射出シリンダーを独自に制御することのできる同時複合射出成形機（TP-80（2HI），東洋機械金属(株)試作機）を使用した。

3.2 射出成形条件の影響

本実験で使用した金型のキャビティ形状は、50×50×3mmの平板状である。図4に示す様に、ランナーAは固定側、ランナーBは可動側に設置してある。樹脂合流部

については、前述したランナー形状検討実験の結果に基づいてランナー合流部を直角にし、仕切りを設けたランナー形状4を採用した。

使用した成形材料は、前項と同様にABS樹脂（トヨラック500，東レ(株)）である。なお、二層状態を確認するため、射出シリンダーAに供給する成形材料は緑色、射出シリンダーB側に供給する成形材料は黒色に着色して実験を行った。

表1に、成形条件と成形品サンプル番号を示す。ここでは、射出シリンダー温度および射出率の影響について検討を行った。Step1では、射出シリンダー温度の影響を検討するために射出シリンダーA、Bとも同じ温度に設定し、その設定温度を5水準に変化させた。またStep2では、射出シリンダー温度はA、Bとも220℃とし、4水準の射出率について検討した。

3.3 二層状複合射出成形品の評価手法

3.3.1 外観評価

3.1項、3.2項で得られた成形品について、それぞれ成形品を目視により観察を行った。その結果、表層側、裏層側ともに所定樹脂のみで構成されており、外観部品として使用可能な成形品と表層側、裏層側ともに他層側成形材料が出現しているため外観部品として使用不可能な成形品の2種類に分類した。

3.3.2 肉厚評価

3.2項で得られた成形品で、外観評価により外観部品と

Table 1 Molding condition in two layer molding.

	Sample No.	Mold temperature (°C)	Injection temperature (°C)	Injection Pressure (MPa)	Injection rate (cm ³ /s)
Step 1	Type 1-A	60	200/200	40.4	5.00
	Type 1-B		220/220		
	Type 1-C		240/240		
	Type 1-D		260/260		
	Type 1-E		280/280		
Step 2	Type 2-A	220/220			2.50
	Type 2-B				5.00
	Type 2-C				10.00
	Type 2-D				15.00

して使用可能とされた成形品について二層それぞれの肉厚の評価を行った。肉厚評価は、図5に示す位置で成形品を肉厚方向に切断し、イメージスキャナー（GT-6000, EPSON(株)）を用いて切断画像をパソコンに取り込み定量的評価を行った。取り込んだ断面画像を2値化し、(a)～(i)の9点において表層側の肉厚 t_s と成形品全体の厚さ t を計測した。得られたそれぞれの肉厚データから層状態を数値化する指標として、表層の厚さを成形品全体の厚さで除したもの (t_s/t) を肉厚比と称することとした。この値が0.5に近づくことは、表層、裏層の肉厚比が同等であり、良好な二層状態であることを意味する。また、成形品断面の測定部位における肉厚のばらつきについては、標準偏差により評価した。

3.3.3 内部流動状態評価

ここまでの実験の結果より、表層面と裏面層ではほぼ均等肉厚となる射出成形条件での樹脂の内部流動状態の解明を行った。

使用した樹脂は、PC樹脂（三菱エンジニアリングプラスチック(株)製：ユーピロン S-3000）およびABS樹脂（三菱化学(株)製：タフレックス 710）でこれらをブレンドし使用した。つまり6：4の重量比でドライブレンドし射出成形を行った。また、二層の界面を明確にするために、片方の成形材料には黒色マスターバッチを10 wt%加え着色を行った。

樹脂の内部流動を観察するために、成形品の流動先端部幅方向中心部およびゲート部を、樹脂の流動方向に切り出し、その破面をポリシャー（リファインテック(株)）を用い

Fig.5 Thickness ratio evaluation position of two layer composite injection molded parts

て研磨し整えた。研磨は、サンドペーパー #240 で2分、#400 で2分、#800 で2分、#1200 で5分、研磨後アルミナ研濁液 $5\mu\text{m}$ で5分、 $0.3\mu\text{m}$ で5分、 $0.05\mu\text{m}$ で5分を行った。研磨した成形品試料を超音波洗浄機で洗浄後、2-クロム酸液にてエッチング処理を行った。エッチング処理条件は、溶液温度を 80°C 、処理時間を5分とし、その後 80°C の純水で10分間洗浄した。これによりABS樹脂は溶出され、空孔となる。そのモルフォロジーを走査型電子顕微鏡（SEM）を使用して観察した。

本実験に用いた金型のキャビティ形状は、3.2項で用いた金型と同一形状である。成形条件は表2に示す。

Table 2 Molding condition for two layer composite injection molded parts of same thickness ratio

Full shot sample condition

	Temperature (°C)	Injection rate (cm ³ /s)	Screw metering (mm)	Injection pressure (MPa)	Holding pressure (MPa)	Mold temperature (°C)
Cylinder A	280	10	33→8	40.8	43.1	80
Cylinder B	280	10	33→12	41.6	51.0	

Short shot sample condition

Holding pressure (MPa)	0
Screw metering (mm)	33→6
	33→12
	33→15

Runner form	The runner shape in partion part	Evaluation of specimens
Runner form 1		×
Runner form 2		×
Runner form 3		×
Runner form 4		○

Fig.6 The aspect of two layer injection molded parts in different gate shapes

4. 実験結果

4.1 金型ランナー・ゲート形状の影響

図6に樹脂合流部の形状が異なる成形品の外観および外観評価結果を示す。ランナー形状1の成形品では、中央から左側面部分では黒色材料が表層部に現れており、表面側から黒-白-黒のサンドイッチ構造となっている。また、中央から右側部分では、左側部分とは逆に表面側から白-黒-白のサンドイッチ構造となっている。ランナー形状2では、表面左側に黒色材料が現れ、裏面側では逆に白色材料が現れている。しかし、ランナー形状1と比較して、成形品表面へ黒色材料が現れている面積は小さい。ランナー形状3では、ほぼ二層構造の成形品となっているが、表面側のゲート付近傍と流動末端部分に厚み30~50 μ mの非常に薄い黒色材料の層が観察される。これらのことから樹脂合流部近傍に突起部を設け、ランナーの厚みを小さくすることで、成形品はより良好な二層状態となることがわかる。さらに成形材料合流部に仕切り板を設け、樹脂合流位置を変更させることによって、ほぼ二層状態の成形品が得られることがわかる。ランナー形状4においては、仕切り板による完全な材料の分離と合流部での直角形状により均一の二層状態の成形品が得られた。

図7に樹脂合流部を厚み方向に切断し、観察した結果の模式図を示す。成形品の二層状態は、図6に示すように樹脂合流部の境界面形状と大きく関係している。成形品が二層状態となっているランナー形状3、4では、樹脂合流部の境界面形状がほぼ水平となっており、表面層に黒色材料層が現れた。それに対してランナー形状1、2では境界面位置が傾いている。これらのことから複合射出成形法による二層成形品の成形では、樹脂合流部における境界面形状を、水平状態に保つような金型設計が重要であることがわかる。

ゲートの形状が異なる成形品外観の観察を行った結果、

Fig.7 The diagram of gate parts in different gate shapes

フィルムゲート、ファンゲートのどちらを用いて射出成形を行った場合でも、成形品キャビティ部分に樹脂充填方向に沿って白色材料層と黒色材料層が交互に出現した。しかし、ゲート厚みを小さくすることで、成形品の二層状態の領域は、ゲート厚みが大きい場合と比較して大きくなる。これらのことから二層状複合射出成形品の成形には、ゲート部形状よりもゲート厚みの設計が重要となることがわかる。

4.2 成形条件の影響

4.2.1 射出シリンダー温度の影響

表3に成形品の外観評価結果を示す。前項の結果より図3に示すランナー形状4を用いて成形条件の影響について検討した。ここではABS樹脂の二層成形検討である表1に示したStep1；射出シリンダー温度の影響についての結果を示す。まず外観評価の結果、射出シリンダー温度が200, 220℃のType 1-A, Bは表層側が緑色材料、裏層側が黒色材料のみで構成された二層成形品であり、外観部品として使用可能である。しかし、それより高い温度の240, 260, 280℃の条件のType 1-C, D, Eの成形品については、表層側、裏層側ともに反対層を構成する成形材料

Table 3 The molded part exterior of layer molding in different molding condition

Sample No.	Injection temperature (°C)	Molded part exterior	Exterior assessment
Type 1-A	200/200	Two colors layer-shaped compound injection molding goods that a surface side and a reverse side layer side are definite	○
Type 1-B	220/220		○
Type 1-C	240/240	The rejected article that a plastic goods section doesn't become a state of two layer	×
Type 1-D	260/260		×
Type 1-E	280/280		×

Table 4 The molded part exterior of layer molding in different molding condition

Sample No.	Injection rate (cm ³ /s)	Molded part exterior	Exterior assessment
Type 2-A	2.50	The rejected article that a plastic goods section doesn't become a state of two layer	×
Type 2-B	5.00	Two colors layer-shaped compound injection molding goods that a surface side and a reverse side layer side are definite	○
Type 2-C	10.00		○
Type 2-D	15.00		○

が成形品表面全体の広範囲にわたって流れ模様となって出現し、外観部品としては使用できない不良成形品である。この流れ模様は、射出シリンダー温度を高い値に設定するに従い、発生領域がより広範囲になる傾向がある。これらの結果から、外観部品として使用可能である二層成形品を得るためには、射出シリンダー温度を低い値に設定して成形することが必要であることがわかる。これは、成形材料同士の界面温度が、二材の混ざり合わない温度になる必要があると推測できる。

外観評価において、二層成形品であると確認された表3に示す成形品、Type 1-A、Type 1-Bについて肉厚評価を行った。Type 1-A、Type 1-Bの肉厚比は、それぞれ0.390、0.393であり、Type 1-BがType 1-Aより肉厚が均等であるといえる。また標準偏差の値は、Type 1-Aが0.56、Type 1-Bが0.49となり、Type 1-Bが肉厚のばらつきのより少ない成形品であることがわかる。したがって、ABS樹脂で表層側と裏層側の肉厚が最も均等でかつ部位による肉厚のばらつきも少ない二層成形品は、両射出シリンダー温度220℃の条件下で成形されたType 1-Bであることがわかった。

4.2.2 射出率の影響

表1に示したStep 2；射出率の影響について検討を行った。この場合射出シリンダー温度220℃としている。表4に成形品の外観評価結果を示す。射出率の低い（射出速度の遅い）Type 2-Aでは、ゲート近傍部から成形品の中央部分は表層側、裏層側とも表面層全体が緑色材料で、また中央部分から流動末端部は黒色材料のみで構成されている。この成形品断面は、サンドイッチ状の三層構造となっており外観不良成形品である。それより高い条件のType 2-B、C、Dについては表層側が緑色材料、裏層側が黒色材料のみで構成された二層成形品となっている。しかし、Type 2-Bにおいては裏層側を構成する黒色材料に曇りが観察される。この黒色材料の曇りは、表層側を構成する緑色材料が、裏層側の表面に薄膜を形成しているために発生してい

Fig. 8 Relationship between injection speed and thickness ratio or standard variation

ると考えられる。この表層側の黒色材料の曇りは、射出率を高くすることで低減し、Type 2-Dでは観察されない。これらの結果から、高速射出成形する程、外観品質により優れた二層成形品が得られることがわかる。

外観評価において、二層成形品であると確認された表4に示すType 2-B、C、Dについて肉厚評価を行った。その結果として図8に射出率と肉厚比、および標準偏差の関係について示す。肉厚比は、射出率の増加とともに増加する傾向があり、Type 2-Dにおいて最も0.5に近づいている。標準偏差の値は、約0.5近傍でほぼ一定となっており、肉厚のばらつきは射出率の値に影響を受けにくいことがわかる。したがって、高速射出することで表層側と裏層側の肉厚がより均等で、測定部位による肉厚ばらつきの少ない二層成形品が得られることがわかった。

4.3 内部流動状態の検討

二層成形品での内部流動状態の検討を行った。ここでは、今まで述べてきた実験とは異なり、使用した材料はPC/

Upper layer PC+ABS

Bottom layer PC+ABS (black)

Screw metering

33→6mm

33→12mm

33→15mm

Fig. 9 Photograph of specimens at various filling stages

ABS ブレンド樹脂である。今までの ABS 樹脂の結果を参照して最適な射出成形条件を考えた。その結果、表 2 で示した条件においては、良好な射出成形品が製作できることを確認した。図 9 に製作した二層成形品における試料充填段階の外観写真、断面写真を示す。

通常、一つのキャビティに同時に熔融成形材料を射出流入させれば、その境界である二材界面は、それぞれ熔融状態にあるため射出圧力等によって二層の流動状態が乱れ、混ざり合ってしまう、二層状の流動を保つことができないと考えられる。しかし、本実験においては熔融樹脂成形材料を同条件で流入させる金型形状（ランナー形状・ゲート形状）を見出し、成形条件である射出率と射出シリンダー温度（熔融樹脂温度）を変化させることで、ほぼ均一な肉厚を有する二層成形品を製作することができた。

図 10-a、10-b に、二層成形品のゲート部とショートショット試料における流動先端部の断面 SEM 写真およびその模式図を示す。SEM 写真の黒くなっている部分が、ABS 樹脂がエッチングされた後の空孔である。ゲート部の断面写真において灰色楕円形で示した空孔は、二層成形材料とも金型壁面および成形材料同士の界面において流動

方向に引き伸ばされ、配向している様相が確認された。これは、せん断流動によるものと考えられ、金型壁面のみならず二材界面においてもせん断流動していることが明らかとなった。また、流動先端部においてもゲート部と同様に、

Fig. 10-a SEM photograph and schematic diagram of cross section in gate of two layer composite injection parts

Flow front (Screw metering 33→12mm)

Fig. 10-b SEM photograph and schematic diagram of cross section in flow front of two layer composite injection parts

空孔は二材とも金型壁面および流動方向に大きく配向している様相が確認され、流動先端部においても、二材界面においてせん断流動していることが明らかとなった。本結果より、二層成形品において、熔融樹脂が接する界面付近の樹脂の流動挙動が異なることがわかる。

また、二層成形品の二層状態を観察すると、2つの熔融樹脂成形材料の流入口であるゲート部および最終充填部である流動先端部と同様に、金型壁面だけでなく二材界面においてもせん断流動していることが確認できた。二層成形品において、樹脂の流動方向での全体的な流動挙動と比較し、熔融樹脂が接する金型壁面と二材界面付近の樹脂の流動挙動がそれと異なることがわかる。

これらの事実より、射出する2つの熔融樹脂成形材料の二材界面にせん断流動をおこさせることが重要であり、それぞれの成形材料が混ざり合わず、二層状の流動状態を保つ成形条件で射出成形を行えば、二層状態を作り出すことが可能であると考察できる。特に、流動樹脂粘度を変化させる射出シリンダー温度（熔融樹脂温度）、流動挙動を一定にさせる射出率を考慮することで、二材界面にせん断流動を発生させることができる。また、金型形状（ゲート部・ランナー部など）もあわせて変化させ組み合わせることにより、二層それぞれの肉厚に関しても任意に近い肉厚を確保できると考察できる。

5. 結 言

本研究では、成形品断面が表面層と裏面層の二層からなる二層状複合成形品を製作する成形法の可能性に着目し、同時複合射出成形法を用いた二層状複合成形品の射出条件の解明を行った。具体的には、二層状複合成形品断面が表面層と裏面層でほぼ均等肉厚に製作可能となる射出成形条件や金型構造および内部流動状態に関する考察を行った。

本研究で得られた知見を以下に示す。

- 1) 二層成形品を得るためには、ゲート部において2つの熔融樹脂が合流する界面が水平であることが必要で

ある。

- 2) 二層成形品を得るための射出成形条件は、2つの樹脂が混ざり合わない射出シリンダー温度と高い射出率が必要である。射出シリンダー温度（熔融樹脂温度）は流動樹脂粘度を変化させる因子であり、射出率は流動挙動を一定に保ち二材界面にせん断流動を発生させる因子である。
- 3) 内部流動挙動観察の結果、樹脂同士の界面においてせん断流動が生じていることが二層成形品を得るために必要である。

参 考 文 献

- 1) Eckardt, H.: *J Cellular Plant*, **5**, 23 (1987)
- 2) Martin, MF., Parsons, JL. and Albrecht, L.: *ANTEC 41*, 4036 (1995)
- 3) Donovan, RC., Rabe, KS., Mammel, WK. And Lord, HA.: *Polymer Engineering Science*, **15**(11), 774 (1997)
- 4) 濱田泰以, 仙波 健: 成形加工, **10**(6), 422(1998)
- 5) 泊 清隆, 早崎 進, 高島弘樹, 夏 明, 濱田泰以, 前川善一郎: 成形加工, **5**(11), 813(1993)
- 6) Hamada, H., Maekawa, Z. and Xia, M.: *International Polymer Processing*, **8**(2), 158(1993)
- 7) Kadota, M., Cakmak, M. and Hamada, H.: *Polymer*, **40**, 3119 (1999)
- 8) 泊 清隆, 山内 哲, 濱田泰以, 二俣圭吾: 成形加工シンポジア '94, A 101 (1994)
- 9) 濱田泰以, 泊 清隆, 山内 哲: 成形加工シンポジア '95, S I D 115(1995)
- 10) 泊 清隆, 濱田泰以, 二俣圭吾, 山内 哲: 成形加工 '95, B 201 (1995)
- 11) 渡辺大祐, 濱田泰以, 泊 清隆: 成形加工, **13**(2) (2001)
- 12) 泊 清隆, 澤田 聡, 中野 亮, 濱田泰以, 前川善一郎: 成形加工, **5**(3), 197 (1993)