



技術解説

ウェルドレス・高転写成形技術と 応用展開

秋元技術士事務所

秋元英郎

ウェルドレス・高転写成形技術と応用展開

秋元英郎(秋元技術士事務所)
博士(工学), 技術士(化学部門)

1. はじめに

プラスチックの射出成形の基本は「融かして流して固める」と言われている。成形材料を熱可塑性樹脂に限定するならば、射出成形機のパレル内で加熱溶解されたプラスチックを成形機のノズルを通して金型に流し込み、金型内で固化させて製品にする。ここでは、流す工程と固める工程は同時に進行する。

金型は溶解プラスチックから熱を奪うための熱交換器である。より効率よくプラスチックを固化させるためには金型温度は低い方が良いが、充填する前に固化しては製品にならないから、充填と冷却のバランスと妥協で金型温度を決めている。そのような金型の温度条件で成形を行うと金型の形状をきちんと転写することができず、ウェルドライン等の外観不良が生じる。

プラスチックが世の中に登場したばかりの頃は、外観品質への要求はそれほど高くなかったが、自動車、家電・情報機器等に用途が拡大するにつれ、外観品質への要求が強まってきた。そこで開発されてきた技術が後述するウェルドレス成形である。

2. ウェルドレスから高転写成形、加飾技術

ウェルドラインとは、互に流れているプラスチックの2またはそれ以上の流体の融合によって形成される成形プラスチック表面の痕跡と定義される。この痕跡はV字型の溝形状をしていることが多い。

ウェルドラインの代表的な発生原因は、合流部分におけるガス抜け不良および金型による流動末端の急激な冷却による未充填である。ウェルドラインを消滅あるいは軽減させるためには、ガスを抜くだけでも一定の効果はあるが、金型による急激な冷却に対する対策が必要となる。

射出成形では金型のキャビティ内に溶解樹脂を流

し込んで、キャビティ形状を写し取る。金型にはデザイナーの設計思想が刻み込まれているが、実際の成形品はデザイナーの思い通りになっていないことが多い。デザイナーの設計思想を忠実に再現するためには、ウェルドラインだけではなく製品の意匠面全体にわたってキャビティ形状を正確に写し取る必要がある。その形状は、鏡面・シボ・ヘアライン等である。キャビティ形状を正確に写し取る際に有効な技術が高転写成形技術である。

更に踏み込んで、高転写成形技術と加飾技術の関係について考えてみる。加飾という言葉は辞書で調べると、「器物の表面にさまざまな工芸技法を用いて装飾を加えること。(三省堂 大辞林)」とある。器物の加飾の基本は色を与えることにあるが、縄文土器は縄目模様を施すのみであり、色はつけていない。しかしながら、素材の味を活かしながら表面に独自のテクスチャーを施す手法はまさに加飾である。

プラスチックの加飾とは、塗装、フィルムインサート成形、ホットスタンプ、パッド印刷、水圧転写等を指すことが多いが、プラスチック成形品の表面がデザイナーのイメージ通りに仕上がれば、これも加飾と言って良いだろう(「加飾しない加飾」)。「加飾しない加飾」は究極の加飾技術である。すなわち、金型に刻まれた設計思想と素材本来の美しさを最大限生かす技術であり、「すっぴん」で勝負するプラスチックと言っても良い。

一方で、デザイン状の要請から塗装、フィルムインサート成形、ホットスタンプ、パッド印刷、水圧転写等の加飾が必要になることも当然ながらある。そのような場合においても、ベースになる成形品の状態は非常に重要である。表面欠陥が少ない成形品に加飾を行うと、仕上がりの品質が格段と良くなることは容易に理解できるであろう。

3. 高転写成形の技術思想

射出成形は、成形機の加熱筒で原料樹脂材料を加

熱融解し、閉鎖した金型キャビティ内に射出充填し、金型によって冷却固化させて、金型を開放して取り出す成形方法である。順序は融かして・流して・固めるであるが、実際には流れながら徐々に固まっていく。

加熱筒で融解した原料樹脂材料は高温状態にあって、粘度が低い状態である。このような溶融した樹脂材料が冷たい金型の表面に触れると、その表面は瞬時に金型表面と同じ温度まで冷却され、流動性を失う。プラスチックが金型を転写するためには最適な粘度範囲がある。それは粘度細工の粘土の粘性をイメージするとわかりやすい。

高転写成形は、加熱筒内の高流動状態から流動できない状態に至る過程において、金型表面において転写に適する粘度を保つためのワンクッションを持つ。そのような粘性の状態では金型内の圧力が高まることによって十分な転写が起こる（図1）。

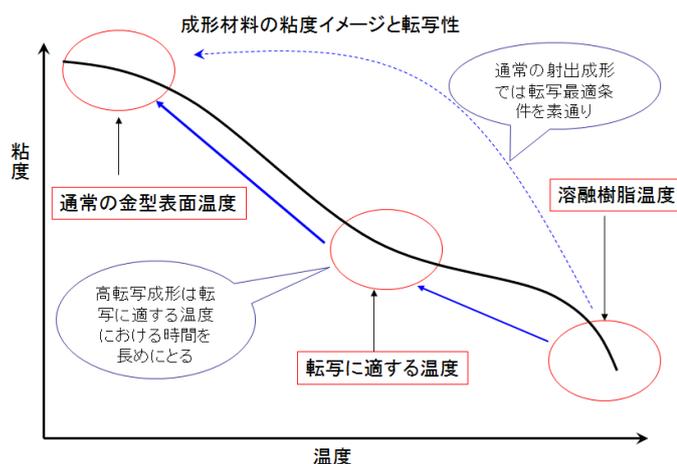


図1. 高転写成形のイメージ図

激な冷却を抑えるために金型キャビティ内面を加熱する方法には表1に示すように、加熱媒体(熱水^{1,3)}、蒸気^{4,5)}、オイル⁶⁾等)によるもの、金型キャビティに断熱層を持つもの^{7,8)}、型閉前にキャビティ表面を電磁誘導⁹⁾やヒーター¹⁰⁾で加熱する方法、キャビティ面の導電層に通電する方法¹¹⁾、金型に電熱ヒーターを仕込む方法¹²⁻¹⁴⁾等がある。

4-1. 熱媒体切替方式

熱媒体切替方式とは、射出充填の際には流動末端におけるプラスチックの粘度を低く維持できる温度の加熱媒体と冷却固化させるための冷却媒体を成形サイクル中に切り替える方式である。加熱媒体の流路と冷却媒体の流路は共通として、媒体を切替える方が、別々の流路にするよりも加熱・冷却の効率が良くなる。その理由は、加熱・冷却それぞれの工程において、単位面積当たりで有効に働く配管数を増やすことができるからである。

同一回路に加熱媒体と冷却媒体を流す場合には、基本的に同種の媒体を流すが、その組み合わせとして代表的なものは、加熱オイル/冷却オイル・加圧熱水/冷水・蒸気/冷水である。加熱オイル/冷却オイル方式は加熱温度が150℃以上になる場合に有効であるが、オイルの比熱は水よりも小さくため加熱温度と冷却温度の差が大きくなると成形サイクルが長くなる。加圧熱水は、水を加圧下で加熱するため100℃以上の温度が得られる。蒸気は加圧熱水よりも加熱効率に優れる。その理由は蒸気の凝縮潜熱が非常に大きいからである。一方で、蒸気を使用するには蒸気の発生源(ボイラー)が必要になる。

図2に加圧熱水/冷水の切替による加熱冷却システムの構成例を示した。これは、三菱重工プラスチ

4. 高転写成形技術の種類と概要

金型キャビティに接触した溶融プラスチックの急

表1 各種金型加熱冷却技術の概要

方式の名称	技術の概要	参考文献
熱水冷水切替方式	加圧熱水と冷水を切り替えて加熱・冷却を行う方式	1, 2, 3
蒸気加熱方式	蒸気と冷水を切り替える方式	4, 5
加熱オイル方式	加熱オイルと冷却オイルを切り替える方式	6
金型表面断熱方式	金型キャビティ面にポリイミドやセラミックスの断熱層を設ける方式	7, 8
高周波誘導加熱方式	開いた金型キャビティ面を誘導加熱により昇温する方式	9
輻射加熱方式	開いた金型キャビティ面をハロゲンランプ等で昇温する方式	10
通電加熱方式	金型キャビティ面に設置した導電層に通電して昇温する方式	11
カートリッジヒーター方式	金型に設けたカートリッジヒーターで加熱する方式	12, 13
細管ヒーター方式	キャビティ面の裏に設置した溝に細管ヒーターを配置する方式	14

ックテクノロジー(株)のアクティブ温調を説明した同社のホームページ掲載の図からの引用である。

熱媒体切替方式では、媒体の組合せを何にするかにかかわらず、共通して重要な事がいくつかある。まず、金型の加熱冷却する部分をできる限り小さくすることであり、具体的には配管を製品面に近く配置すること、入れ子構造にして母型から断熱する方法等が用いられている。金型材質は熱伝導性・耐熱応力等を考慮して選ぶ。加熱冷却によって転写が良くなると金型の小さな傷や異物まで拾うので、品質の良い金型材が必要になる。

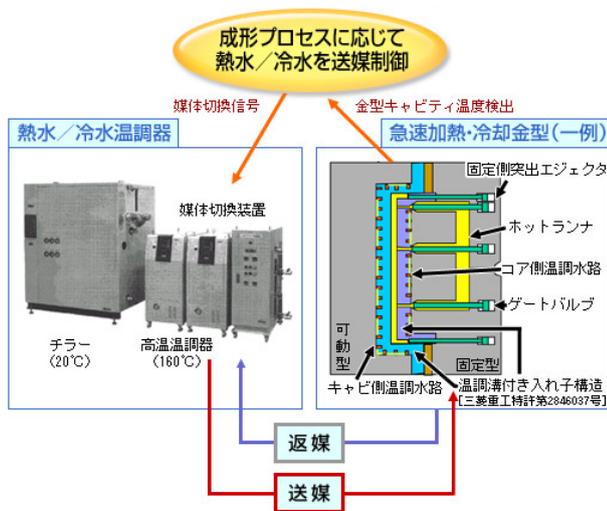


図2 加圧熱水/冷水切替方式のシステム構成例
(三菱重工プラスチックテクノロジー HP)

現在では、蒸気/冷水方式が最も一般的であり、小野産業と三井化学が共同開発した RHCM(高速ヒートサイクル成形)、日本 GE プラスチックス(現サビック・イノベティブ・プラスチックス)が開発したヒート・アンド・クール成形技術(現在は三菱商事テクノスがマーケティングを行っている)、三菱重工プラスチックテクノロジーのアクティブ温調(蒸気利用と加圧熱水利用の2種類ある)およびシスコのスチームアシストがある。韓国企業では Unibell 社の HeaCo システムがある。このシステムは外部ボイラーを使用せず、ヒーターを内蔵したシリンダーの中に蒸留水のミストを吹き込むことで高圧高温の蒸気を発生させる。図3に RHCM システムの概念図を示した。

4-2. キャビティ表面直接加熱方式

金型を開いた状態で、キャビティ面を外部加熱し、加熱源を退避させてから金型を閉じて射出開始する方法がある。射出開始までの間に冷えるため、その分を見込んで高めに加熱しておく。加熱源としては、ハロゲンヒーターや電磁誘導が用いられる。旭化成が開発した誘導加熱方式 BSM がある。

フランスのロックツール社は金型を閉じた状態で加熱できる誘導加熱方式を開発した。2方式あり、金型を外部から囲う形でコイルを巻く方法(Cage

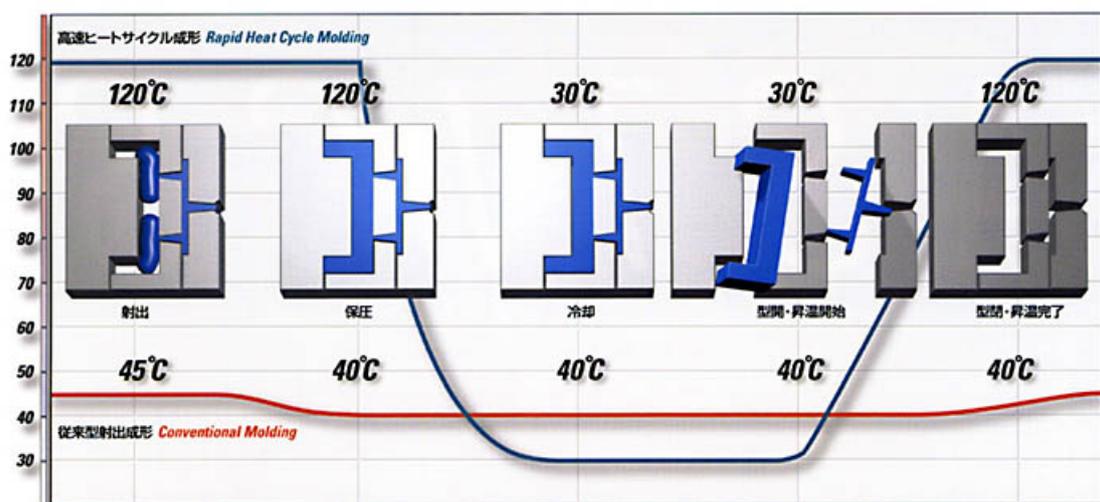


図3 高速ヒートサイクル成形(RHCM)の各工程における金型温度イメージ図(小野産業 パンフレットより)

System)と金型のキャビティ裏にコイルを配置する 3iTech がある(図4)。この技術の特徴は、金型材

質と交流電源の周波数を最適化することによってキャビティ表面の深さ数 mm のみを加熱することができる点にある。

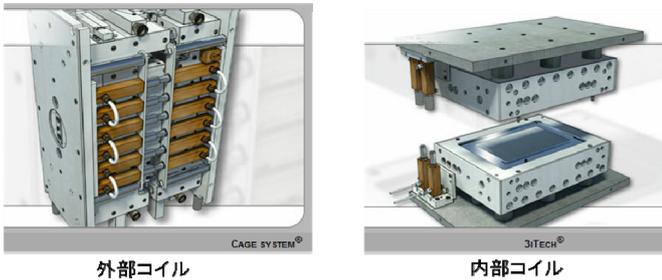


図4 ロックツール社の誘導加熱による金型加熱冷却システム

左: 外部コイル方式の Cage System

右: 内部コイル方式の 3iTech

(ロックツール HP より)

4-3. 断熱金型

断熱金型は金型のキャビティ面に断熱性のある被膜を形成しておくことで、熔融ポリマーが金型によって熱を奪われるのを遅らせ、図1の転写に適する温度をゆっくり通過させる技術である。断熱層として使用されるのは、ポリイミド塗料やセラミックスがある。ポリイミドをコーティングする方法としては旭化成の CSM がある。三菱エンジニアリングプラスチックスはジルコニア系セラミックスを用いている。図5には三菱エンジニアリングプラスチックスのホームページより転記した金型構造図を示す。一般金型とはウェルドラインやフィラーの浮きを解決することを目的とした金型であり、キャビティ表面はセラミックスである。製品に微細な凹凸を持たせる場合には、セラミックス上にめっきを施し、めっき層に微細な凹凸加工を行った例である。

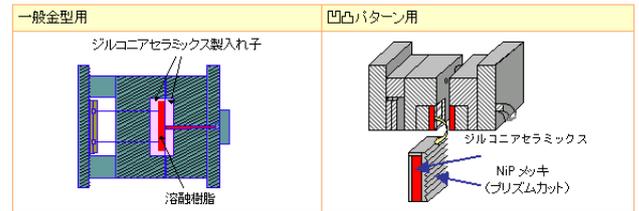


図5 断熱金型の構造(左:一般的な断熱構造、右:断熱層の上をめっき処理して微細パターンを形成した例)(三菱エンジニアリングプラスチックス HP より)

断熱金型の利点は特別な金型温調システムが不要な点である。

棚沢八光社はセラミックスのシボシートを金型に貼りつけるセラシボ加工技術を開発し、微細な凹凸に対応している。

4-4. 電気ヒーター方式

ウェルドライン対策としてヒーター棒を金型に挿入する方法は古くから実施されているが、近年ヒーターの技術が大きく進化している。

柴田合成の SG ウェルドレス技術は高速加熱が可能なセラミックヒーターをキャビティの裏側に仕込み、ヒーターが前進・後退する(図6)。このヒーターを解析によって得られたウェルドラインの発生位置に配置し、熔融プラスチックを充填する際にはヒーターを前進させておき、充填が終わるとヒーターを後退させて冷却水を通水する仕組みである。

金型構造概略

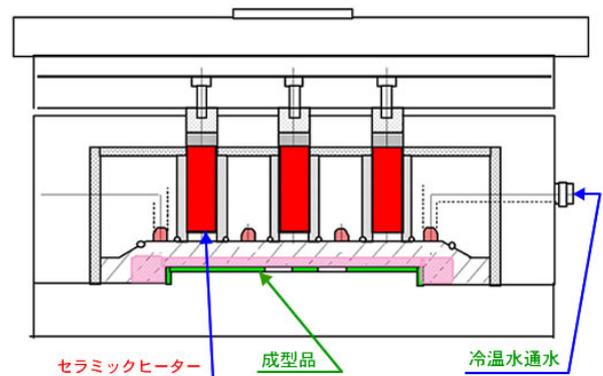


図6 柴田合成の SG ウェルドレス技術に用いられる金型構造 (柴田合成 HP より)

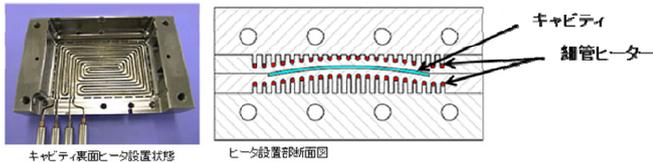


図7 山下電気 Y-Heat で用いる金型構造図
(山下電気 HP より)

山下電気の Y-Heat 技術は三次元形状にも対応しやすい技術である。金型構造を図7に示す。金型の入れ子のキャビティ裏に製品形状に合わせたスリットを入れ、そのスリットに細管ヒーターをはめ込む方法である。ヒーターは曲げ加工が可能であるため、ウェルドライン部分のみであっても、製品の意匠面全体であっても加熱が可能である。ヒーターへの通電を切ると冷却水による冷却が作用する。

韓国の Nada Innovation が開発した E-mold は加熱板と冷却板が接触・分離する方式である (図8)。金型のキャビティ部分 (加熱キャビティ) にはヒーターが挿入されており、金型を開いている状態で通電加熱を行う。加熱キャビティから隙間において冷却ブロックが存在し、通水冷却されている。金型を閉じると加熱キャビティと冷却ブロックが接触するから、通電を止めると冷却が始まる仕組みになっている。

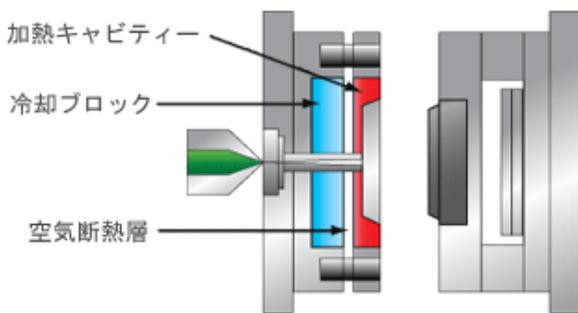


図8 E-mold 技術に用いる金型構造
(ウィッツェル株式会社 HP より)

ヒーターと冷却水管が複合化された、ハイブリッド方式も使われている。韓国の Unibell が開発した emCo システムは水管の中に棒状のヒーターを挿入する方法である。冷却時にはヒーターには通電しないが、加熱時にはヒーターに通電するとともに、水管の上流・下流のバルブを閉じる。このことによりバルブによって閉鎖された空間に残された水がヒ-

ターで加熱されて蒸気になる。必要最小限の蒸気しか発生させないことが特長である。図9は同社によって出願された日本特許 16)に記載された金型構造図である。 韓国の Hotsys は水管をヒーターで巻く方式を提案している。

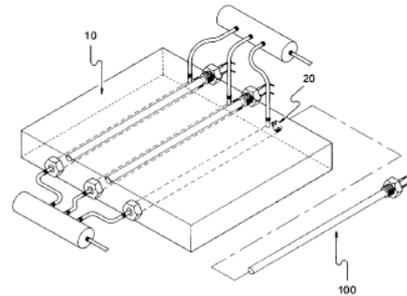


図9 Unibell 社 emCo システムの金型構造図
(日本特許第 4499181 号)

金型(10)の水管(20)に棒状ヒーター(100)を挿入する

5. 高転写成形の技術的効果

高転写成形技術を用いることによる代表的な技術的効果はもちろん高金型転写性であることは前述した通りである。この高転写性の他に流動性向上と配向緩和効果の重要な技術的効果として挙げられる。

通常の射出成形では金型に流入した熔融樹脂は金型内壁により冷却され、その結果として流路が狭くなる。そのため圧力が伝播されにくくなる。高転写成形技術を用いると射出充填工程の間、流路が確保される。

また、衝撃性付与のためにゴムを添加しているような材料の場合、射出充填時の剪断力によってゴム相が引き伸ばされながら充填が進行する。通常の射出成形では、引き伸ばされたゴムはそのまま冷却される。高転写成形技術では引き伸ばされたゴム相が球形に戻ってから冷却される。

6. 高転写成形技術の産業上の効果

6-1 ウェルドラインが目立たない

ウェルドラインの大きな原因はガス抜け不良と流動末端が金型によって冷却されることによる急速な流動性低下である。高転写成形を用いると流動末端の急速な冷却が避けられ、型内圧力によって完全に転写されることでウェルドラインが見えなくなる。

すなわち、合流後に金型内圧力が高まることによって、金型キャビティ形状を転写することで、ウェルド部分の溝が完全に埋まるのである。図10にはウェルド部における高転写成形(図においてはE-moldとアクティブ温調)の効果を示した。ウェルドラインは目視で見えないだけでなく、凹凸も無くなっている¹⁷⁾。

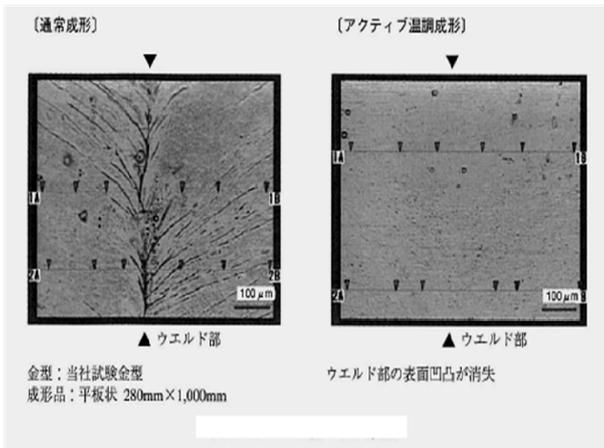
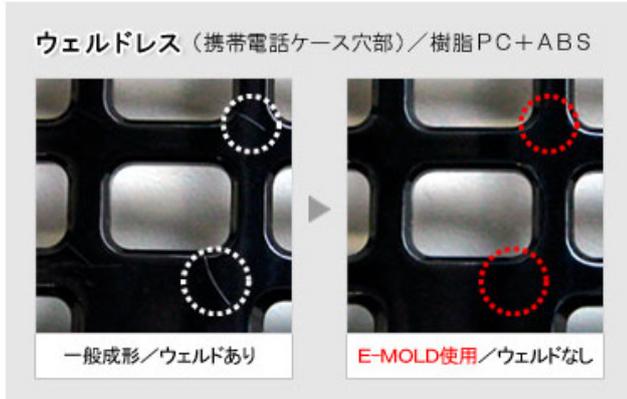


図10 高転写成形技術によるウェルド部分の改良効果
上:E-moldによる効果(ウィツエル HPより)
下:アクティブ温調による効果(参考文献17より引用)

6-2 フィラーが露出しない

フィラー入りの熔融樹脂が金型内を流れるとき、フローフロント付近でフィラーが樹脂から飛び出すようにして流動する。金型壁面付近の樹脂は非常に大きく延伸される。例えば100倍に延伸されるときに断面積が1/100になるとすると、フィラーはその断面積の中には納まりきらず、樹脂の外に飛び出すのである。通常の成形では樹脂の部分はフィラーを追い出した後で金型壁面によって急冷されるので、結果として成形品の表面にフィラーが浮き出ることになる。

高転写成形を用いると、充填の最後に掛る型内圧

によって、熔融樹脂が浸み上がるようにして再度フィルターを覆うようになる。図11はRHCMによる改善例である。写真で示すようにフィラーは製品表面に露出しなくなっている。



図11 ガラス繊維(30%)入りABS樹脂成形品の外観
(a):通常射出成形品, (b):RHCM成形品
(c):通常射出成形品表面の顕微鏡写真
(d):RHCM成形品表面の顕微鏡写真

(小野産業技術資料より)

6-3 微細形状がしっかり転写する

金型の微細形状は成形品の外観品質・機能を大きく左右する。しかしながら、実際にデザイナーのイメージ通りの転写ができないことが多い。特にシボ(に限らず、ヘアライン等の加工溝も同様)が微細であればあるほど、成形品の仕上がりはかけ離れる。微細なシボを転写しようとする、微細な隙間に熔融樹脂が流れ込む必要があるが、通常の成形では微細な隙間に流れ込む前に冷却されて固化してしまう。高転写成形を用いると金型の微細な凹凸まで転写することができる。図12には金型シボ面の凹凸と成形品表面の凹凸の比較を示した。高転写成形を用いると、金型の形状をほぼそのまま転写していることがわかる。

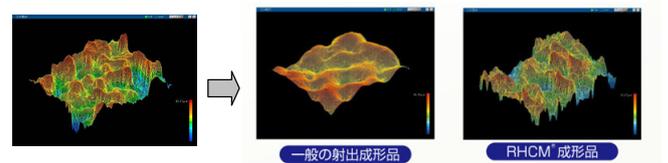


図12 レーザー顕微鏡観察による金型のシボ面、及びその金型による通常の射出成形品の表面およびRHCMによる成形品表面観察

(小野産業技術資料より)

6-4 鏡面の品質が極めて高い

高品質な鏡面を得るためには、高度に磨き上げた金型だけでは不十分である。特に ABS や HIPS のように耐衝撃性を改良するゴム成分が添加されている材料の場合、充填時の剪断によって引き延ばされたゴム粒子が、引き延ばされた状態で固定される。ところが、金型を開いたとたんに戻ろうとして表面に凹凸ができる。高転写成形を用いると、金型内で冷却される前にゴム粒子の延伸が緩和されるため、型開き後にはゴム粒子の形状変化は起こりにくく、金型を転写した高度な鏡面状態が維持される。

6-5 薄肉の充填がしやすい

通常の成形では充填の途中ですでに冷却固化が始まっているため、熔融樹脂が流れる流路が徐々に狭まっていく。そのため、射出圧力が流動末端まで伝搬しにくく、薄肉充填には困難が伴う。無理をして押し込むと製品の充填密度のバランスが悪くなり、反りが発生しやすくなる。高転写成形では充填途中において、流路が広く確保されるため、薄肉の充填もしやすくなる。図 13 にはジルコニア系セラミックスを断熱層として使用した断熱金型と通常金型における流動長の比較を示した。断熱金型による流動性向上の効果が見られる。

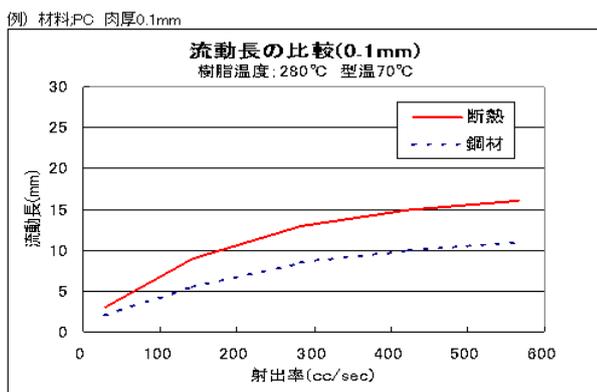


図13 断熱金型と通常金型における流動長の違い

材料:PC、製品厚み:0.1mm

(三菱エンジニアリングプラスチックス HP より)

6-6 発泡痕が目立たない

発泡成形では成形品表面にスワールマークと呼ばれる外観不良が生じる。このスワールマークは流動末端に気泡が破裂して、その痕跡が筋状に残ったものである。発泡成形品を外観部品として使用する場

合には、このスワールマークを消す必要がある。発泡成形に高転写成形を組み合わせるとスワールマークの凹凸が金型転写によって消失する。図 14 には発泡成形品と高転写成形の併用の製品表面写真を示す¹⁷⁾。

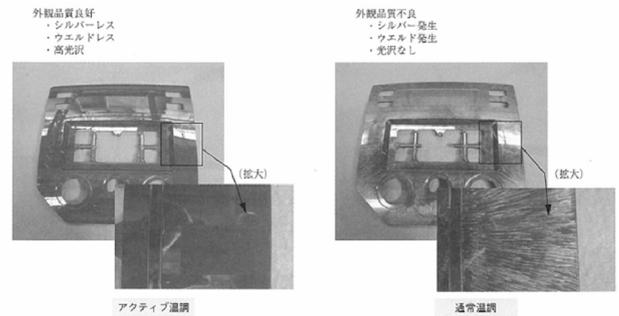


図 14 左:発泡+アクティブ温調の製品表面

右:発泡成形品の製品表面

(参考文献 17 より引用)

7. 加飾のベースとしての高転写成形品

高転写成形はそれだけで加飾と言えるレベルの外観品質が得られるが、高転写成形品をベースに加飾することで加飾の品質を高めることができる。特にめっきや高光沢塗装を行う場合には、成形品表面の僅かな凹凸が強調されるので高転写成形品をベースにすることが有効になる。図 15 には高転写成形品にめっきを施した場合の例を示した。



図15 Y-HeaT 成形品にめっきを施した例

(山下電気 HP より)

繊維状フィラーやゴム成分を添加したような材料は、ゲート付近やウェルド部において、フィラーやゴムの配向に違いが生じる。特に塗装を行うと、このような部分においてシンナーによりアタックされて、塗装の外観に違いが生じることがある。吸い込

みと言われる現象である。高転写成形で成形すると、このような配向が緩和されやすく、吸い込みが起こりにくくなる。

ABS樹脂はめっきしやすい材料の代表例である。ABSのめっきは、ABS中のブタジエンゴム相をエッチングして溶かし出し、できた空隙にめっき膜が喰いつくことで密着強度を得ている。ところが、成形時の剪断によって引き延ばされたゴムはエッチングによって良好な空隙形状にならず、密着不良をおこしやすい。高転写成形で成形すると、ゴム粒子の配向が緩和されてめっきが密着しやすくなる。

8. 高転写成形をベースとした複合成形技術

小野産業はフィルムインサート成形とRHCMの組合せによってプラスチック表面を金属調に仕上げる技術を発表している。

金型内に加飾用のフィルムをインサートしておく、インサートフィルムが金型の熱で軟化し、フィルムに金型内面の形状が転写される。例えば、金属調フィルムをインサートし、金型にヘアラインを施しておく、成形されたインサート成形品の表面はヘアラインが転写された金属調フィルムで覆われるようになる(図16)。

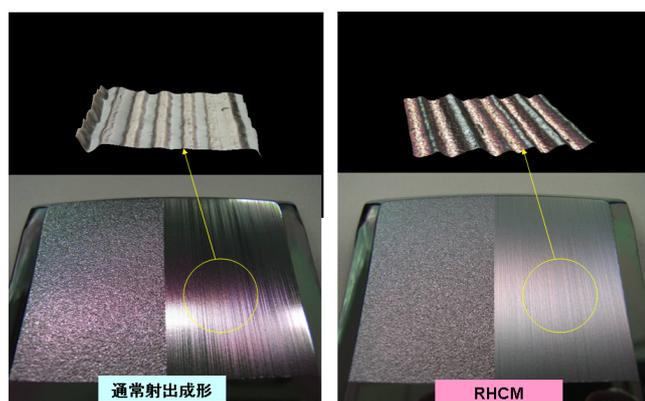


図16 フィルムインサート成形品の表面

左:通常のインサート射出成形品

右:RHCMを併用したインサート成形品

(小野産業 技術資料より)

9. 機能化のための高転写成形

高転写成形技術は成形品の外観品質を高めるために広く使用されているが、外観以外の機能を狙った

用途にも広がりつつある。例えば、微細なパターンを成形品表面に付加することで、成形品に親水性を付与することができる¹⁸⁾。また、成形品の低グロス化の目的でも塗装によって低グロス化していた部分において、微細シボ加工だけで低グロス化が可能になってきている。これらの機能化はシボ・凹凸パターンの最適化とともに、転写率を高めるための高転写成形技術が重要である。

10. おわりに

高転写成形技術は国内外で広く活用されてきている。本稿では代表的な技術を紹介したが、紹介できなかった多くの技術が開発され、実用化されている。今後の進展を見守りたい。

11. 参考文献

- 1) 特開平 09-314628
- 2) 特開平 10-100156
- 3) 特開平 11-115013
- 4) 特開 2001-18229
- 5) 特開 2002-316341
- 6) 特開平 11-348080
- 7) 特開 2002-172655
- 8) 特開平 08-318534
- 9) 特開平 10-80938
- 10) 特開 2000-238104
- 11) 特開平 04-265720
- 12) 特開平 08-230005
- 13) 特開 2004-74629
- 14) 特開 2007-118213
- 15) 宇野泰光, 成形加工技術と装置の動向“高転写射出成形技術”, *プラスチック・エージ エンサイクロペディア進歩編 2006*, 223-229 (2005)
- 16) 特許第 449918 号
- 17) 今村智, *プラスチックエージ*, 54(2),82(2008)
- 18) 特開 2009-262511