



技術解説

ヒート&クール 射出成形技術

秋元技術士事務所

秋元英郎

<http://www.ce-akimoto.com>

Hideo.Akimoto@ce-akimoto.com

ヒート&クール射出成形技術

秋元技術士事務所 秋元英郎

1. はじめに

プラスチックは金属、木材、ガラス等の代替品として用途拡大してきた。プラスチックが世の中に登場したばかりの頃は、いかにも安っぽい粗悪品という印象だったように記憶している。プラスチックの用途拡大には新しい加工技術（一次加工、二次加工）の開発、材料開発・改良が大きく貢献してきた。

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。

ヒート&クール成形技術は、プラスチック製品に発生するウェルドラインを解消するために開発された技術であり、プラスチックの外観品質を飛躍的に高めて、プラスチック製品に高級感・高質感を付与する重要な技術である。

2. ウェルドレス成形・高転写成形

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工程である。実際には流す工程と固める工程は同時に進行する。金型は熔融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。

ウェルドラインとは、共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、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固化に対する対策を行い、金型キャビティ形状を忠実に転写する必要がある。

ウェルドレス成形は、ウェルドライン発生部分のみが対象になるが、一歩進めて製品全体を金型キャビティ形状に忠実に転写することができるのが高転写成形である。

高転写成形技術の恩恵は、①ウェルドラインが目立たない、②フィラーが露出しない、③微細形状がしっかり転写される、④鏡面の品質が高い、⑤薄肉の充填がしやすい、⑥発泡痕(スワールマーク)が見えない等であり、多くの用途でその恩恵を享受している(1)。効果については後ほど詳しく述べることにする。

ヒート&クール技術がブレイクしたのは液晶テレビのフレームやノートブックPCでピアノブラックが流行したことによる。それまでのピアノブラックは塗装やフィルム貼り合わせで表現していたが、ヒート&クール技術の拡大により無塗装が当たり前になった。

3. 高転写成形の技術思想

射出成形において、加熱筒で融解した原料樹脂材料は高温状態にあつて、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。図1にそのイメージ図を示した。

転写が起こるタイミングは金型内の圧力が最も高くなる時であり、金型内の樹脂は射出・保圧工程の間で転写に適する粘度範囲を保つ必要がある。

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たせる技術と言える。

用語を整理すると、高転写成形、ウェルドレス成形という呼び方は目的を示す言い方であり、ヒート&クール成形という言い方は手段を表す言い方である。

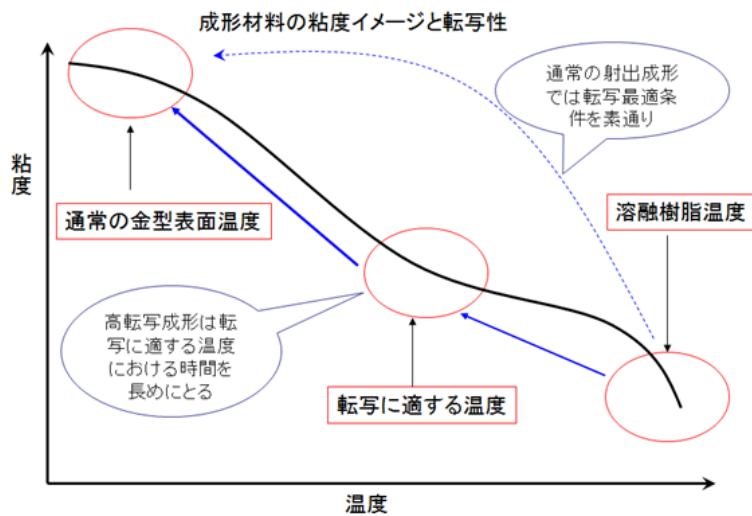


図1. 高転写成形のイメージ図

4. ヒート&クール技術の方法

金型キャビティに接触した熔融プラスチックの急激な冷却を抑え、転写に必要な「ワンクッション」を持たせるためには金型キャビティ内面を加熱する方法が有効である。表1に示すように、加熱媒体(熱水(2-4), 蒸気(5,6), オイル(7)等)によるもの、金型キャビティに断熱層を持つもの(8,9)、型閉前にキャビティ表面を電磁誘導(10)やヒーター(11)で加熱する方法、キャビティ面の導電層に通電する方法(12)、金型に電熱ヒーターを仕込む方法(13-15)等がある。

金型キャビティに断熱層を持たせる方法は「ヒート&クール技術」ではないが、共通する効果が得られるため、併せて紹介する。

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	2, 3, 4
蒸気加熱方式	蒸気と冷水を切り替える方式	5, 6
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	7
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	8, 9
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	10
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	11
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	12
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	13, 14
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	15

4-1 媒体切り替え方式

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。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。

4-1-1 オイル加熱方式

オイルによるヒート&クール成形技術は古くから検討されていた。東芝機械(株)と東北ムネカタ(株)は誘導加熱によって加熱されたオイルと低温のオイルを交互に流す方式を開発し、その効果を報告している(16)。充填時には金型表面温度を T_g 以上に、充填完了から離型までには金型表面温度を T_g 以下まで冷却することが有効であると述べられている。さらに、媒体の流速は乱流になるようなレイノルズ数になることが必要である。

(株)松井製作所は2011年に開催されたIPF2011においてオイル方式のヒート&クール温調ユニットを展示していた。温水や蒸気では達成できない高温領域で有効である。

4-1-2 温水方式

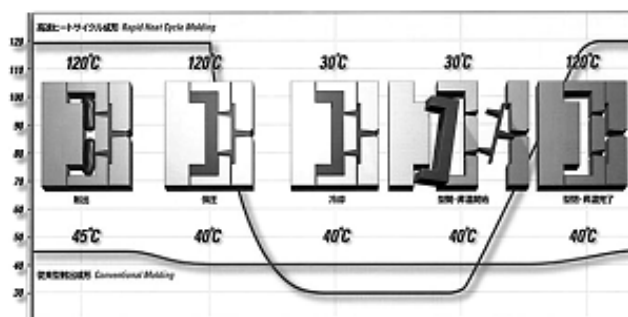
温水方式は高温用温調器と低温用温調器を用意し、異なる温度の水をバルブ切り替えユニットによって切り替えることで、金型温度を上下させる。高温用温調器として、加圧熱水を用いれば 150℃近い温度も可能である。温水と冷水の混合を避けるために、両者の間に圧縮空気を流すことで、加熱・冷却の速度を速くすることができる。

最近ではヨーロッパにおいて温調器メーカーの SINGLE (<SINGLE Alternating Temperature Technology>) や Wittmann (<BF Mold>) を開発し、展示会で成形実演を行っている。

温水方式は加熱速度で蒸気方式より劣るが、ボイラーを設置する必要が無いことから、比較的導入しやすい。

4-1-3 蒸気方式

蒸気加熱方式は日本が世界をリードしており、小野産業(株)の<RHCM>、(株)シスコの<スチームアシスト>、三菱重工プラスチックテクノロジー(株)の<アクティブ温調>が知られている。最近では韓国のUnibell、YUDO が蒸気方式(それぞれ、<HeaCo>、<RICH>)を発表している。図2に小野産業の<RHCM>のプロセス概略図を示した。



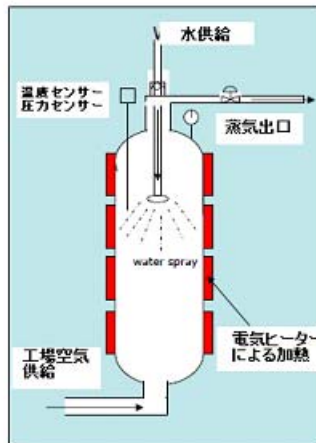
(出展: 科学と工業, 84 (5), 28, 図2 (2010))

図2 小野産業の<RHCM>の各工程における金型温度イメージ図 17)

Unibell の<HeaCo>は電気ヒーターを内蔵した容器内に圧縮空気と純粋のミストを吹き付けることで高温高圧の蒸気を発生させる方式である(図3)。そのため、別途ボイラーを設置する必要が無いが、十分な電気供給が必要である。

YUDO の<RICH>は温調ユニット内に電気ボイラーを内蔵し、温調ユニットからボイラーの制御が行える。こちらもボイラーの設置は不要であるが、電気の消費は大きい。

蒸気方式は前述のように蒸気を持つ潜熱を利用するため、加熱速度が速いことが特長である(18)。



(出展:Unibell技術資料「HeaCo Mold Heat & Cool System」)

図3. Unibell(韓国)の「HeaCo」システムにおける蒸気発生装置の構造

4-1-4 媒体切り替え方式の金型

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・多く配置すること、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。参考文献5には、加熱冷却管の直径は 3～6mm、キャビティ表面から配管までの距離は 1～10mm が好ましいと記載されている。金型材質は熱伝導性・耐熱応力等を考慮して選ぶ。総合的な評価から、ステンレス系の金型材料が用いられることが多い。代表的な金型素材としては、日立金属(株)の「Cena 1」が有名である。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。

冷却配管は細いガンドリルで多数の直管を配置する方法が一般的であるが、(株)富士精工の「3D ウェルドレス金型」(写真1)や金属粉末によるレーザー焼結(光造形)による自由な 3 次元配管が可能になってきており、よりキャビティ内面に近い場所に配置することが可能になっている。

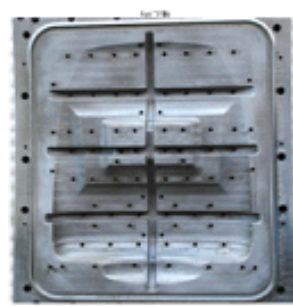
キャビティ面



キャビティ面裏側



キャビ下駒



(出展: 株式会社富士精工 HP <http://www.fuji-gr.co.jp/products1001.html>)

写真1. (株)富士精工の<3D ウェルドレス金型>

4-2 電磁誘導方式

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。最近では台湾の中原大学系ベンチャーiNERがBSMに似た方式を開発し、台湾企業に採用されている。誘導加熱は温度上昇速度が非常に速い特長があるが、サイズや形状に限界がある。

フランスの RocTool 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 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(19)。NPE2012(2012年4月フロリダ州オーランド)では<3iTech>による成形実演を行っていた。



外部コイル

外部コイル方式の<Cage System>



内部コイル

内部コイル方式の<SiTech>

(出展: ロックツール HP <http://www.roctool.com/plasticInjection.php>)

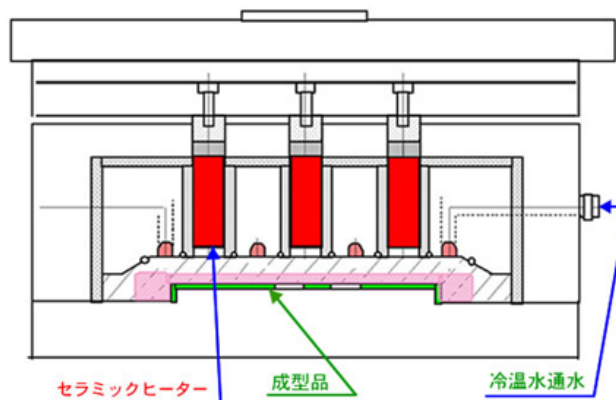
図4 ロックツール社の誘導加熱による金型加熱冷却システム

4-3 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。

(株)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5)。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、溶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。

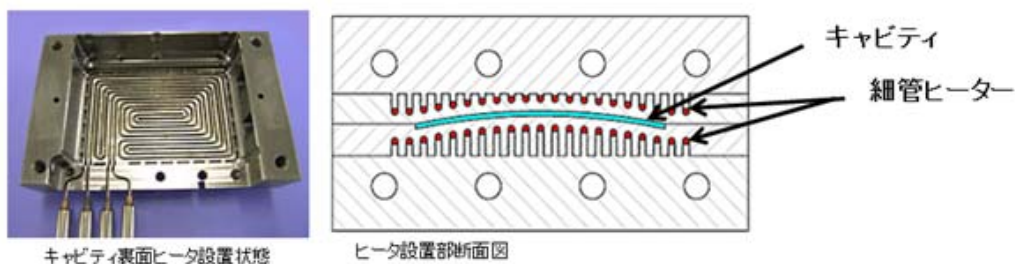
金型構造概略



(出展: 柴田合成 HP <http://www.shibatagousei.co.jp/04techno/weldless.html>)

図5 柴田合成の<SG ウェルドレス技術>に用いられる金型構造

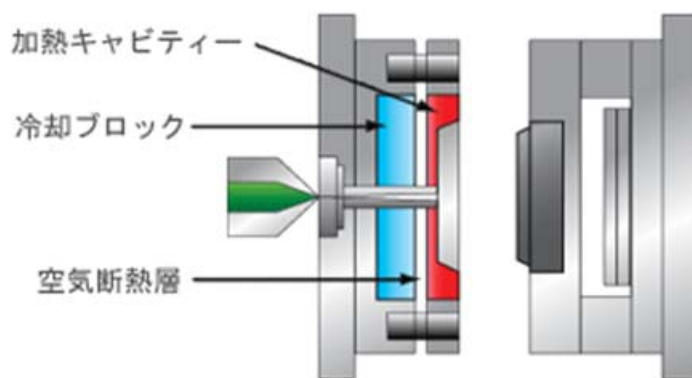
山下電気(株)の<Y-Heat>技術は三次元形状にも対応しやすい技術である。金型構造を図6に示す。金型の入れ子のキャビティ裏に製品形状に合わせたスリットを入れ、そのスリットに細管ヒーターをはめ込む方法である。ヒーターは曲げ加工が可能であるため、ウェルドライン部分のみであっても、製品の意匠面全体であっても加熱が可能である。ヒーターへの通電を切ると冷却水による冷却が作用する(20)。



(出展:山下電気 HP <http://y-heat.com/feature.html>)

図6 山下電気<Y-Heat>で用いる金型構造図

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7)。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を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。

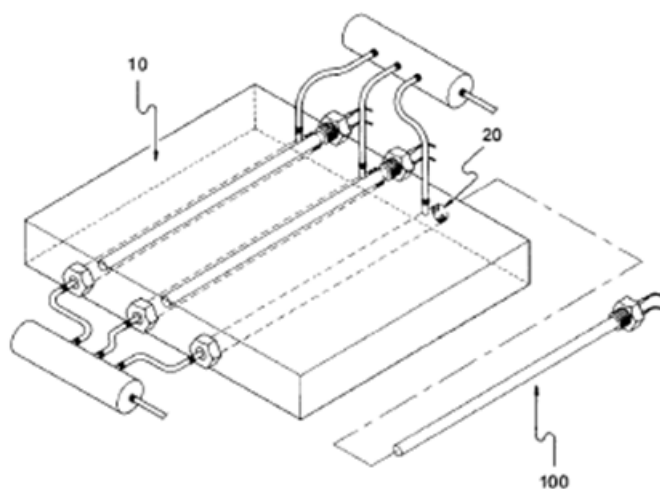


(出展:ウィットセル株式会社 HP <http://www.witwell.co.jp/HTM/emold/emold.html>)

図7 <E-mold>技術に用いる金型構造

4-4 複合方式

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ー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8は同社によって出願された日本特許(21)に記載された金型構造図である。逆に韓国の Hotsys は水管をヒーターで巻く方式を提案している。



金型(10)の水管(20)に棒状ヒーター(100)を挿入する

図8 Unibell 社<emCo>システムの金型構造図 21)(日本特許第 4499181 号)

4-5 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<GSM>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。製品に微細な凹凸を持たせる場合には、断熱層(例えばセラミックス)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。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。

5. ヒート&クール成形技術の技術的効果

ヒート&クール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が、他にも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. ヒート&クール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

ヒート&クール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し、ウェルド部分の溝が完全に埋まるのである。図9にはウェルド部におけるヒート&クール成形(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(22)。

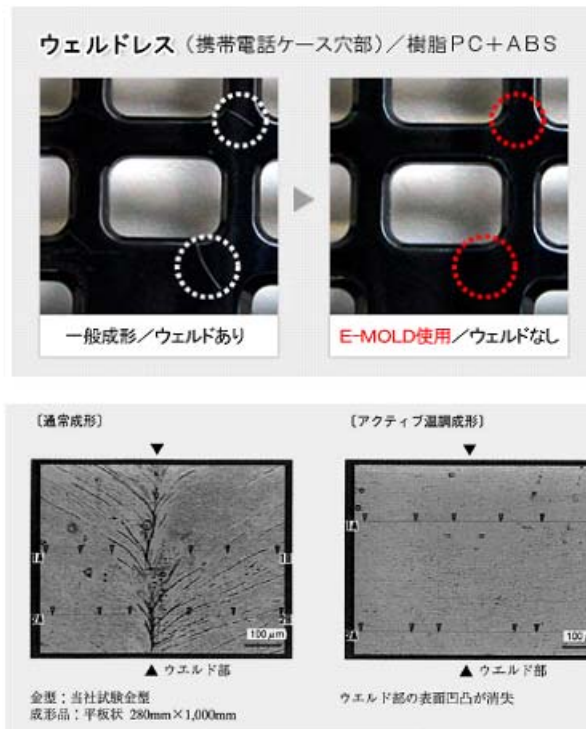


図9 ヒート&クール成形技術によるウェルド部分の改良効果

上：<E-mold>による効果

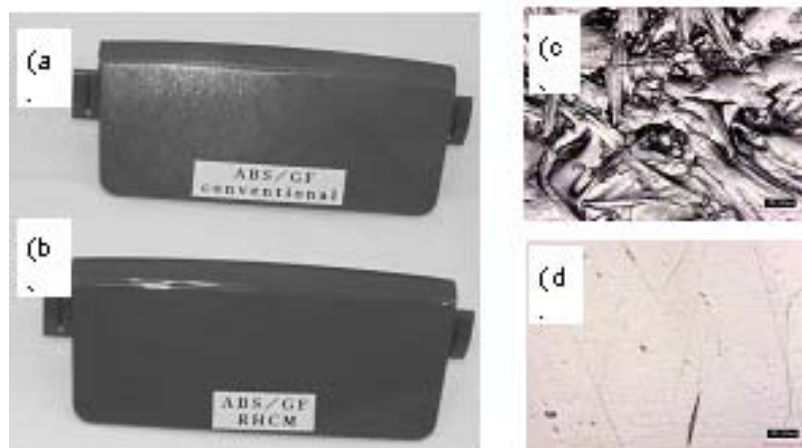
(出展：ウィツエル HP <http://www.witswell.co.jp/HTM/emold/emold.html>)

下：<アクティブ温調>による効果(出展：成形加工, 23 (12), 721, 図7)(22)

6-2 フィラーが露出しない

フィラー入りの溶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 になり、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。

ヒート&クール成形を用いると、充填の最後に掛る型内圧によって、溶融樹脂が浸み上がるようにして再度フィラーを覆うようになる。図10は小野産業の<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(17)。



(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

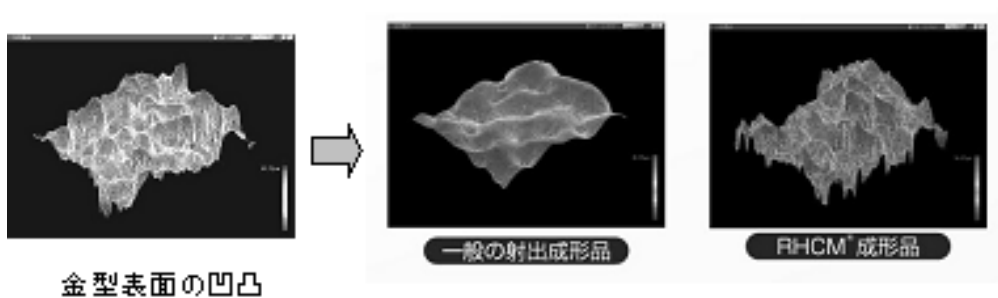
(出展:科学と工業, 84 (5), 30, 図5 (2010))

図10 ガラス繊維(30%)入りABS樹脂成形品の外観観察 17)

6-3 微細形状がしっかり転写される

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。特にシボやヘアライン等の加工溝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。ヒート&クール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11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(17)。

逆に、欲しいテクスチャーを得るためには通常成形とは異なったシボパターンが必要になるので、シボメーカーとの念入りな打ち合わせと事前テストが不可欠である。さらに注意すべきことは、金型の微細形状が細かい場合、通常成形では入り込まないような狭い部分に樹脂が流れ込み、離型時にこすれ等の問題が起きる可能性がある。



(出展:科学と工業, 84 (5), 29, 図4(2010))

図11 レーザー顕微鏡観察による金型のシボ面,
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 17)

6-4 鏡面の品質が高い

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伸ばされたゴム粒子が、引き伸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。

高度な鏡面を求める場合には、金型の磨きが極めて重要である。何故なら通常の成形では転写しないような金型の磨きの筋も転写してしまうからである。ピアノブラック製品のように超高光沢を求める場合、8000～20000 番で磨くのが一般的である。

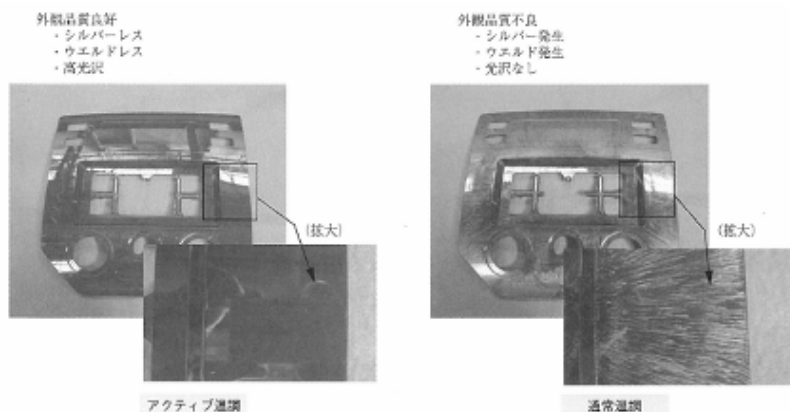
6-5 薄肉の充填がしやすい

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。ヒート&クール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。

6-6 発泡痕(スワールマーク)が見えない

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り、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。発泡成形とヒート&クール成形を

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(23)。図12には発泡成形品とヒート&クール成形併用の成形品の表面写真を示す(22)。



(出展: 成形加工, 20 (6), 722, 図9 (2011))

図12 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 22)

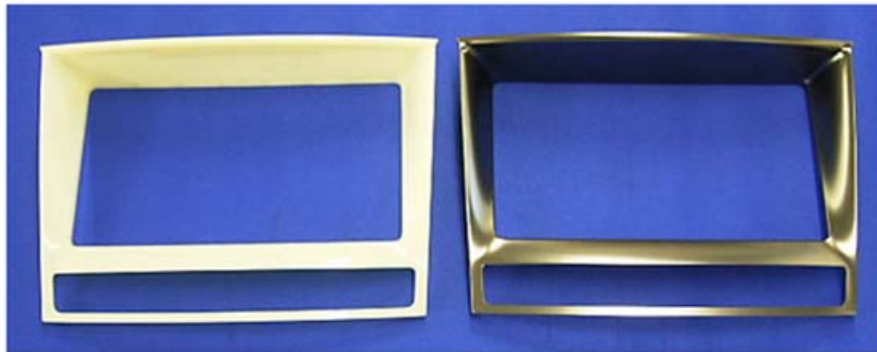
7. ヒート&クールの複合技術

ヒート&クール技術はそれだけでも付加価値を高められる技術であるが、他の技術や特定の材料との組合せによって新たな価値を創造することができる。例えば加飾を行う場合、ベースの成形品の表面に欠陥が無いので、加飾後の品質が安定し、質感も高くなる。

7-1 ヒート&クールとめっき

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。ヒート&クール成形で成形すると、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。

また、めっき処理を行うとベース成形品の外観不良が強調されるため、ウエルドレスは必須となる(写真2)。



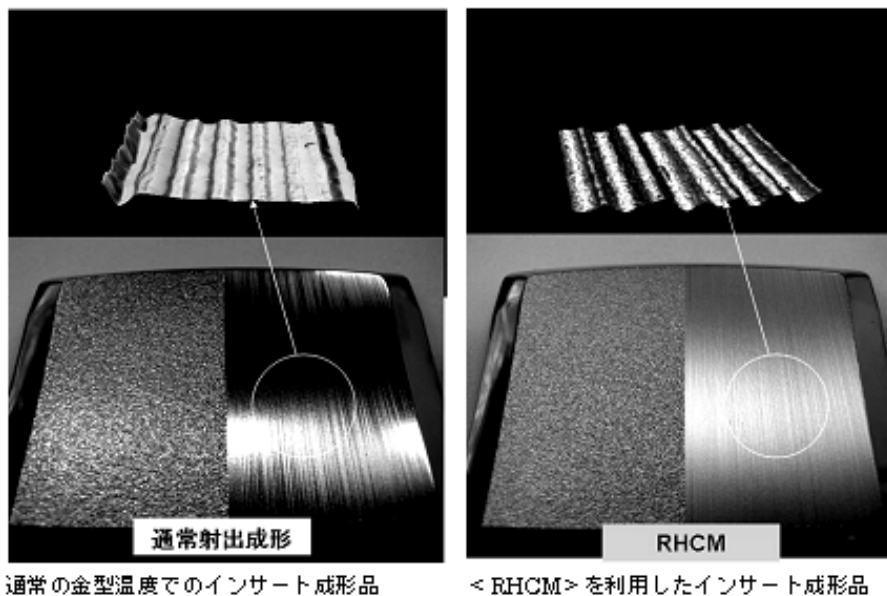
カーナビゲーションパネル(メッキパネル / 2007年量産開始)

(出展: 山下電気 HP <http://y-heat.com/products.html>)

写真2 <Y-Heat>成形品にめっきを施した例

7-2 ヒート&クールとフィルムインサート

フィルムインサート成形(FIM、IML)にヒート&クール技術を組み合わせると、成形の工程でインサートフィルムが金型の熱で軟化して、金型キャビティ内面の形状を転写しやすくなる(図13)。例えば、金型にシボやヘアラインを施している場合、インサートフィルムの表面にその形状が転写され、高質感が得られる(17)。



通常の金型温度でのインサート成形品

<RHCM>を利用したインサート成形品

(出展: 科学と工業, 84 (5), 31, 図6 (2010))

図13. フィルムインサート成形における金型のシボ、ヘアライン転写の様子

7-3 ヒート&クールとポリ乳酸

ポリ乳酸は単に植物由来でカーボンニュートラルという理由で環境にやさしい素材として活用されている。ポリ乳酸の特長はそれだけではなく、結晶化すると 140℃以上の耐熱性を持った優れたエンジニアリング樹脂である。ところがその最大の欠点は非常に結晶化しにくいことにあり、ほとんどの用途が非結晶・非耐熱用途である。

ポリ乳酸の結晶化温度は 100～120℃で最も速いが、金型温度を 100～120℃に設定しても結晶化時間が 60～120 秒ほどかかる上に、金型から取り出した後に変形しやすい(24)。

ヒート&クール成形を用いると、成形サイクルが短縮でき、取り出し後の変形も少なくなる。すなわち結晶化に最適な金型温度で射出し、十分に冷却してから取り出すことで、後収縮が抑制される。ただし、成形に用いるポリ乳酸は結晶化促進剤が添加された耐熱タイプの銘柄である必要がある(25)。

8. おわりに

ヒート&クール成形技術は方式の多様化が進むとともに、素材に価値を与え、高級な製品を創り出すことができる技術である。多くの製造現場で積極的に活用されることを期待している。

参考文献

- 1) 濱田博晟、平井宏一、我妻孝明、山喜政彦，“高速ヒートサイクル成形の効果”，プラスチック成形技術，17 [3]，9-15 (2000)
- 2) 特開平 09-314628(日本ジーイープラスチック(株))
- 3) 特開平 10-100156(日本ジーイープラスチック(株))
- 4) 特開平 11-115013(東北ムネカタ(株))
- 5) 特開 2001-18229(小野産業(株)、三井化学(株))
- 6) 特開 2002-316341(三井化学(株))
- 7) 特開平 11-348080(東北ムネカタ(株))
- 8) 特開 2002-172655(株)太洋工作所
- 9) 特開平 08-318534(三菱エンジニアリングプラスチック(株)、(有)コーキ・エンジニアリング)
- 10) 特開平 10-80938(旭化成工業(株))
- 11) 特開 2000-238104(三菱レイヨン(株))
- 12) 特開平 04-265720(大宝工業(株))
- 13) 特開平 08-230005(共和工業(株))
- 14) 特開 2004-74629(株)東海理化電機製作所

- 15) 特開 2007-118213(山下電気株)
- 16) 田中秀雄、舘山弘文、鈴木淳広、“金型急加熱・冷却システムとその適用事例”， 成形加工,5[2], 107-113 (1993)
- 17) 秋元英郎，“高速ヒートサイクル成形と加飾技術”， 科学と工業, 84 [5], 193-197 (2010)
- 18) 山喜政彦、寺田隆、今川秋彦、我妻孝明、佐藤義久，“媒体が加熱冷却金型の温度変化に与える影響”， 成形加工, 14, 269-270 (2003)
- 19) Nicolas Renou, Jose Feigenblum, “IH 技術を用いた急加熱冷却技術”， 成形加工, 23 [12] 705-710 (2012)
- 20) 吉野隆治、竹野内修，“細管ヒータ式ウェルドレス金型の開発”， 成形加工, 20 [6], 259-260 (2009)
- 21) 特許第 4499181 号(ユニベルカンパニーリミテッド)
- 22) 戸田直樹，“型温加熱冷却成形技術”， 成形加工, 23 (12), 718-723 (2011)
- 23) 特開 2002-307473(株グランドポリマー)
- 24) 秋元英郎，“金型加熱冷却によるポリ乳酸の結晶化促進技術”， プラスチックスエージ, 55 [8],98-101 (2009)
- 25) 特許 4645971 号(株クニムネ、ユニチカ株)