金型内組立成形によるモジュール化

西 田 正 三*・上 村 孝 志*・梅 津 聡*

1. はじめに

最近のものづくりは、高付加価値及び差別化技術の独自技術開発に全力を注いでいる。金属を樹脂に素材転換することで製品の軽量化を図ることはもちろんのこと、パソコンや携帯電話などOA機器の筐体をはじめ、家電、自動車部品などプロセスを簡略化したり、樹脂製品の成形と組立を同時に行って、通常は専用機が必要な多材質成形において汎用の設備での生産を可能にするなど、樹脂製品に対する高付加価値化、高機能化、低価格化の要求は強まる一方である。そうしたニーズに対応し、金型内で複数の成形品を一つの成形品に組み立てる樹脂部品のモジュール化は、工程の省力化、ひいてはコスト低減をもたらすうえで、最も重要な技術となっている。本稿では、その中でもコア技術の一つである、DSI成形法（Die Slide Injection）を中心に、金型内組立による中空成形法と多材質成形法について解説する。

2. 中空成形法

2.1 従来の中空成形法

これまで射出成形法で中空成形品を作ることは、容易なことではなかったが、様々な成形法が開発されてきた。表1に各種の中空成形品の成形法と特性を示す。プラスチック中空品を成形する代表的な方法には、射出成形品の内部にガスを送り込むガスアシスト成形法と、円筒形状の熔融樹脂（パリソン）を上方から供給し、内部にガスを吹き込んで周囲の金型に密着させるブロー成形法がある。

どちらの方法も圧縮ガスを中空品内部に吹き付け、ガス圧力で樹脂を金型壁面に押しつける手法である。比較的早いサイクルで生産可能なため、寸法精度を必要としない単純形状のタンク類に広く採用されているが、樹脂は金型形状によって局所的な伸び率に差が生じる。そのため、意図する肉厚に成形することには限界があり、コーナー部で肉厚のばらつきを生じやすく、成形の安定性や製品強度の維持に問題が残されている。

これらの問題を解消するために開発された成形法として、ロストコア成形法¹⁾がある。これは、低融点の金属や、可

表1 中空成形法の比較²⁾

特 性		形状の自由度	材料の自由度	寸法精度	物性・強度	軽量化	金型費	設備投資	生産性	後工程の省力化	環境問題	材料ロス	コスト
成形方法													
中空成形	ガスアシスト成形法	×	△	×	△	△	○	△	○	○	○	○	○
	ブロー成形法	×	△	×	△	○	◎	△	△	×	○	×	◎
ロストコア成形		◎	○	○	○	△	○	×	×	×	×	△	×
射出成形	組立法	締結法	◎	○	△	△	◎	○	◎	×	○	○	◎
		接着法	◎	○	△	△	◎	○	◎	×	○	○	◎
	溶着法	振動溶着法	△	○	△	○	◎	○	◎	×	○	○	◎
		熱板溶着法	△	○	△	○	◎	○	◎	×	○	○	◎
	DSI		○	○	◎	○	◎	○	○	◎	○	○	◎

◎：優，○：良，△：可，×：否

* Nishida, Shoso/Uemura, Takashi/Umetsu, Satoshi
 (株)日本製鋼所 広島製作所
 射出機技術部プロセス技術グループ
 広島市安芸区船越南1-6-1 (〒736-8602)
 2005.9.20 受理

溶性の材料で中子を成形し、これを金型内に置いて射出成形する。そして、コア部分を後から加熱または溶かして除去することにより、中空成形品を得る方法で、汎用金型に近い構造で対応できるため金型費は比較的安価である。ただし、この方法は成形工程のほかに、中子をセットする前工程と、中子を除去する後工程が必要であり、工程が複雑となるため大量生産向きとは言えない。また中子を除去しなければならないので、密閉された中空品を作ることはできない。

また、射出成形品を後工程で結合させる溶着法がある。なかでも代表的な振動溶着法は、予め射出成形された二対の成形品を加圧しながら接触させ、微振動を加えて摩擦熱により成形品表面を溶融・一体化させる方法である。溶着する方法によって、超音波溶着法、熱板溶着法もある。しかし、いずれの方法も、接合形状が略平面でないと溶着できない、温度制御が難しい、サイクルタイムが長い、消費電力が多い、工程数が多い、設備面積が大きくなるなど多くの解決すべき問題を抱えており普及の妨げとなっている。

2.2 DSI 成形法による中空射出成形法³⁾

これら従来の中空成形法の欠点を解決するとともに、不可能とされてきた中空成形品の内部にリブやボスを設けることも可能にした新しい方法に DSI 成形法がある。DSI 成形法は肉厚の調整も自由であり、後工程（バリ仕上げ、後溶着など）は一切不要であるばかりでなく、射出成形機単独で部品を組立て、製品を完成させることができるため、大幅な工程数削減が可能になるとされている。さらには、金型をスライドさせる機構を追加するだけで、通常の射出成形機がそのまま使用できるという特性も持っており、新たな設備投資を最小限に抑えることもできる。

2.2.1 DSI プロセス

DSI の最大の特長は、1 次成形後に金型をスライドすることにある。DSI プロセスを図 1 に示す。まず 1 次射出で 1 次成形品（中空品の半割り体）を成形し(b)、1 次成形品をキャビティに残したまま金型を開く(c)。金型は、射出成形機に設けたダイスライド機構で移動できる構造になっている。この機構で金型を、1 次成形品同士が向き合う位置に移動する(d)。再度型を閉じ(e)、1 次成形品を突き合わせた合わせ目の部分をくるむように、ハチ巻き状に溶融樹脂を 2 次射出し、射出融着の作用により一体化する。

2.2.2 DSI の溶着強度と接合形状

DSI 成形における射出融着*1 のメカニズムを図 2 に示す。DSI 製品は、金型内に 2 次射出された溶融樹脂は、1 次成形によって囲まれてできるキャビティの中を高圧で注入された溶融樹脂が流動する(図 1(e)~(f))。高温の 2 次樹脂は、既に固化している 1 次成形品表面に熱を伝え、表面を再溶融させながら充填する。そのため、溶着過程の 2 次成形においても射出成形でおこなうため、金型外で溶着処理される振動溶着法に比較すると数倍の圧力で溶着処理されていると推定される。図 3 に DSI と振動溶着法の成形品内部に水圧をかけて破壊した強度を示す。対振動溶着の約 2.3 倍の耐圧強度が確保されている。

この接合部については、製品形状、要求耐圧強度により様々な接合形状の開発が行われてきた。図 4 は、DSI と振動の基本的な接合形状を比較して示す。DSI の接合形状は、

図 1 DSI プロセス²⁾

1) 射出融着モデル

2) 界面温度の時間変化

図 2 射出融着のメカニズム²⁾

図 3 DSI と振動溶着の接合強度比較 (DSIφ 100 ボール/樹脂 PP)

ダイをスライドさせる工程に於いて、金型を開放すると拘束を解かれた成形品は収縮によって開放された方向に倒れこむため、融着用の溶融樹脂を注入した際に溶融樹脂の漏洩が生じる。しかし、金型内に L 字形の防止溝を設けると、成形品が溝に固定されるため接合部の変形が抑制され、融着用の溶融樹脂を注入した際の樹脂内洩れが生じない。これを内倒れ防止と呼ぶ。

2.3 DSI 成形法によるモジュール化の事例

DSI 成形の普及に伴い、DSI 成形法は中空成形品の型内組立に、積極的に利用されている。特に、工程の短縮や品質バラツキの低減が求められる自動車部品の成形へ多く採用されておりその中でも、複雑に屈曲した 3 次元形状であるインテークマニホールドの成形には早くから採用されている。また、新しい用途事例としては、自動車用ランプ(サイドターン)の自動成形システム²⁾がある。このシステムは 2 基の射出機構を搭載した DSI 射出成形機、バルブ、

図4 DSIと振動溶着の基本形状

端子のインサート、製品の取り出し、検査工程をする自動機などから構成され、ランプの組立までをすべて射出成形機内で行うことにより30%以上のコスト削減を可能としている。

更に最近、DSI技術と成膜（スパッタリング）技術を融合した金型内成膜システムUMSS（Ultra Molding Sputtering System）が新たに開発された。従来のプラスチック製品への成膜加工は、金型から取出した成形品に前処理を施して真空蒸着を行う様々な工程と専用設備により構成されている。各工程及び次工程への移動には人間が介在することにより、成膜に大敵な微少なゴミ、傷、汚れを防ぐため部品の取り扱い・運搬・保管には慎重を期する必要がある。作業性が悪く、歩留まりも低いなどの問題を抱えている。これらの問題を解決するため、金型内成膜システムが開発された。システムのプロセスと試作成形品を図5に示す。ボディの成形・成膜・組立を1つの金型内で同時に行うことで、以下のメリットがもたらされる。

- 1) 成形後、同一金型内で即時に成膜するため、成形品への吸湿が無く、安定した成膜が可能である。
- 2) 金型から成形品を取出さずに成膜するため、汚れ、ゴミ混入による不良が低減される。
- 3) 金型内にマスキングプレートを設置することで、マスキング工程が不要となる。
- 4) ランプボディの成形・成膜・組立が1バッチで完結するため、ショット間のバラツキに伴う組立不良率が低減する。

射出成形直後に成膜を行う完全自動化システムが実現され、品質向上に寄与している。今後も様々なプロセスがDSI成形法による中空成形品の型内組立工程と組み合わせられ、新たな省工程が生まれることが期待される。

3. 多材質射出成形法

3.1 従来の多材質射出成形法

多材質成形法は、装置のグリップやスイッチ部など、材質の異なる樹脂を射出成形する方法であり、型内組立の1つと考えられるであろう。これまで、効率良く高品質の成形品を得るために様々な方法が生み出されてきた。代表的な多材質成形法を表2、図6に示す。コア回転方式は、1次成形品をコア金型内に残し回転させることにより2次キャビティを入れ替えて異材質樹脂を射出し、一体成形する

図5 金型内蒸着システムのプロセスと試作

表2 2色成形法の比較²⁾

方式 \ 特性	製品形状の自由度	汎用性	金型段取り時間	生産性	金型製作コスト	自動化対応	トータルコスト
ロータリー方式（コア回転式）	○	△	×	△	△	△	△
対向方式（コア回転式）	◎	×	×	△	△	△	×
コアバック方式（油圧バック方式）	×	◎	◎	○	△	○	○
M-DSI方式（コアスライド式）	◎	◎	◎	◎	○	○	◎

◎：優，○：良，△：可，×：否

図6 従来の多材質成形法

る方法である。2台の成形機を並列に配置し、型盤を一体化した形態である。金型が型盤中央に配置できず、射出時に偏荷重が発生することから、大きな形締め力が必要になると同時に、金型回転移動構造をもつために、金型内でコア抜きを必要とする複雑形状の成形品への対応が難しいなどの問題がある。

対向式は、2台の射出成形機を直列に配置し、金型を挟んで対面に配置した形態である。先のコア回転方式における問題は解決されるものの、装置が特殊成形機となり、汎用性・段取り性において問題がある。

また、コアバック方式は、コア前進させた状態で1次成

図7 M-DSI プロセス²⁾

形を行い、後にコア後退させてできた空間に異材質の樹脂を射出する方式である。比較的安価にシステムを構築できるが、製品設計上の制限を受けるため対応できる範囲が狭いという欠点を持っている。

3.2 M-DSI プロセス

これら従来の多材質成形法の問題点を解決する方法として、DSI 成形法を組合わせた M-DSI 成形法 (Multi layered-Die Slide Injection) がある。図7に M-DSI プロセスの概要を示す。M-DSI は、1 次成形後に上下または左右のダイスライドによってキャビティを入れ替え、2 次成形する成形法である。金型は、固定側の 3 つのキャビティと可動側の 2 つのコアで構成されている。可動側のコアは同一形状であり、ダイスライドにより、外側のキャビティで 2 次成形され、同時に中央のキャビティにおいて 1 次成形が進行する。この方式は、2 つの成形工程を同時に進行させることからダブル M-DSI と呼ばれており、ランナー切換装置によって、2 つの 2 次側キャビティに交互の 2 次成形を可能にしている。この方式は主に単純形状で小形成品品の大量生産に適しているが、複雑形状や大型成形品の成形には固定側に 2 つキャビティと可動側に 1 つのコアを配したシングル M-DSI が採用されている。シングル M-DSI は、1 次成形と 2 次成形を交互に行うため、ダブル M-DSI のように 2 つの成形工程を同時に行うことができないことから、生産性はやや低下するものの、金型や射出成形機の大規模化を抑制することができると同時に従来設備の利用などで初期投資を抑えることが可能になる。また、複雑形状の積層成形も可能になるため、製品の付加価値を向上させることもできる。

M-DSI の特長をまとめると、次のようになる。

- 1) ダイスライドによるキャビティ入れ替えによりサイクルタイムが短縮される。
- 2) 工程数削減により生産性が向上し、コストが低減される。
- 3) 標準成形機をベースとした汎用性が高い多材質成形機を提供できる。
- 4) 高い型閉め力が必要な 1 次成形品を型盤中央で成形するため、大型多材質成形品ができる。

図8 電動工具用カバー

- 5) ダイスライドの動作を、コアバック、ネジ抜き動作へと応用できる。

3.3 M-DSI の成形事例

これらの特長を生かし、M-DSI 成形では、複雑形状でかつデザイン性を重視される高付加価値製品に多く活用されている。その一例として、図8に電動工具用カバーを示す。本体は高い強度を持つグラスファイバー強化ナイロン樹脂からなり、表面には柔軟性とグリップ性の高い TPE (熱可塑性エラストマ) が積層されている。DSI 成形の機構を組み合わせることによって広い範囲にわたって複雑形状のエラストマを積層成形することが可能となり、製品のデザイン性を向上させることができるようになった。また、自動車・OA 機器の成形に普及してきており、今後ますます複雑かつデザイン性を求められる部品に利用されることが予想される。

4. おわりに

近年急速に進みつつある成形品の付加価値向上と生産時の工程省略の大きな流れの中で、中空製品の型内組立や多材質成形はますます重要な技術となりつつある。その中でも DSI 成形は、様々なプロセスと組み合わせることによって、射出成形機を単なる“成形機”から小さな“組立工場”に変えつつある。今後はわれわれ日本人が得意とする組み合わせ技術を駆使してモジュール化を進め、海外製品に品質、コスト、機能で勝る製品を送り出せるように勤めたい。

最後に、DSI 技術を応用し自動車用ランプ製造自動化システムおよび金型内成膜システム (UMSS) を開発・実用化され、今回の投稿に際しまして多大なご協力を頂きました株式会社大嶋電機製作所に謝意を表します。

参考文献

- 1) 三谷景造：プラスチック成形技術大事典，48(1994)，日刊工業新聞社
 - 2) 西田，上村，小屋松：プラスチックエッジ，48(8)，74 (2002)
 - 3) 特許公報 平 2-3877
- *1 融着：融着とは、振動溶着などで用いられる「溶着」と区別を明確にするために、(株)日本製鋼所により考案された用語である。