S2607-21

解　　説

PPS 樹脂を主体とした 高難度樹脂成形における適用と考察

＜HP型シャットオフノズル＞

Herzog Japan ㈱　神原　直人

1．はじめに

昨今の高温で難易度の高いスーパーエンプラの射出成形において、機械側に求められる要素は各段に高度になってきたと言える。軽量化と微細化がキーワードとなるため、薄肉、精密成形が主体となり、上限温度近傍での成形を行うケースを散見するようになってきた。そのため、加熱シリンダー、ノズル、金型のいずれにおいても、最高のパフォーマンスを追求するために、より厳密な温度管理が求められるようになったのは疑いの余地はない。

スーパーエンプラとして多くの樹脂が開発され利用されてきた。中でも、PPS樹脂（ポリフェニレンサルファイド）はその特性と安定した市場価格が評価され、世界でも毎年5～8%増で増産されており、プラントも複数個所で増強されて来た。このことからPPS樹脂は今後のスーパーエンプラの主役としてナンバーワンの地位を築くのは間違いないと思われる。

従来のオープンノズルでは、金型に熱エネルギーを取られるため、先端温度は基本より5～15 ℃程度高くしていたが、厳しい射出条件においては、すでに上限温度に達しているため、これ以上先端温度を上げる余裕はない。このままではコールドスラグの発生が懸念されるが、ノズル先端温度を高くした場合、今度はドローリングの発生、樹脂材料の劣化、糸引き等を誘発してしまう。よって、残念ながらこのままでは八方ふさがりの状態と言わざるを得ず、オープンノズルのままで有効な対策を実現するのは困難であると言える。

しかしニードル式シャットオフノズルを用いれば、射出時以外は金型とノズルの接触は必要とせず、オープンノズルでのトラブルに有効な対策を打つことができる。理由は、流路を遮断し、熱の遷移を最小限に抑えることができるからである。これにより、ノズル先端の設定温度はオープンノズルより抑制した設定が可能で、場合によっては剪断発熱分低く設定できるケースも散見される。加えて金型に熱を取られない分、ヒーターのオーバーシュートによる過昇温も防止できる。これらの効果により、樹脂材料の劣化を最小限に抑え、高品質で安定した成形が可能となる。よって本稿では熱の遷移に視点をフォーカスし、考察を深めたいと考える。温度的に非常にクリティカルな射出条件になると、如何に熱の遷移を抑えるかが、最重要ポイントとしてクローズアップされてくるのは疑いの余地はない。

加えて、オリフィスを閉じることでドローリング、糸引き、空気の巻き込み等が抑制され、他の不良の発生も防止できる。また、型開閉と計量の同時動作が行えるためサイクルタイムの短縮も可能となる。逆に、その時間的余裕を計量時間の延長に転嫁し、樹脂物性の低下抑制に用いることも可能となる。このように、ノズル先端で樹脂の流れを開閉するという単純な動作であるが、熱の遷移抑制以外にも大きなメリットが有り、生産性向上に大きく寄与することが可能であると言える。以下のケーススタディを通し、当社HP型ニードル式シャットオフノズルへの理解を深めていただければ幸いである。

2．PPS樹脂の特徴

PPS樹脂（ポリフェニレンサルファイド）は、高い耐熱性、耐薬品性、難燃性を持つスーパーエンジニアリングプラスチックである。加えて溶融粘度が低いため、強化剤や無機フィラーの添加量を多くできるメリットがあり、ガラス繊維を添加した強化グレードが多く採用されている。自動車や住設機器の高温、高圧、摺動環境で使用する部品、また電子機器の躯体やコネクタなどに幅広く利用されているの

第１表　PPSの適用製品例

自動車部品	コネクタ、電流センサー躯体、ポンプ、ヒーター、ヒューズボックス（難燃性、絶縁性、寸法安定性、耐熱性、耐薬品性等）
電子・電気機器	端子台、コネクタ、スイッチ（難燃性、絶縁性、寸法安定性等）
産業機械	ポンプ、インペラ、バルブ（高剛性、耐食性等）
住設機器	シャワーヘッド、同ホルダー、ツマミ（高剛性、耐熱性）（高剛性、耐熱性等）

は間違いない（第１表）。半面、射出成形時にアウトガスが出やすいため、金型や機械の腐食が考えられる。また、バリが発生しやすいなどデメリットもある。

直鎖型、架橋型、それにGFなどが添加されたタイプ、加えて粘度が比較的高い直鎖型でも高流動化したタイプ、PFA樹脂とのポリマーアロイなど、近年は様々なタイプのPPS樹脂が開発されている。加えて高い流動性から射出成形にとって厳しいデザインの製品も見受けられる。いずれにおいても、できるだけガスの発生を抑えながら、高めの温度の成形が求められる傾向が強い。そういったPPS樹脂の特性から、高い充填率、厳しい重量偏差、ウェルド強度、ガスの発生、機器類の腐食対策など対応すべき点は増えるばかりである。

３．オープンノズルが主たる要因で発生するトラブル例

オープンノズルが主たる要因で発生するトラブル例を第２表に示す。

第２表　不良の原因

不良内容	原因
コールドスラグ	オープンノズルの場合、ノズル先端の熱が金型に取られることが原因
先端の過昇温	金型側の吸熱を見越して設定温度を上げるが、そのヒーターのオーバーシュートで過熱
ドローリング	高温での射出が好まれるため、より流動性が高まりドローリングが発生
シルバー、ボイド	サックバックを行うと、ノズル先端から内部に入った空気によりシルバーやボイドが発生
ウェルドの強度低下	ノズル先端の温度が低いと、流動初期の樹脂温度が低くなりウェルドの強度が低下
ショート、ヒケ、バリ	流動初期の樹脂温度が理想より低い場合や、高い場合に発生

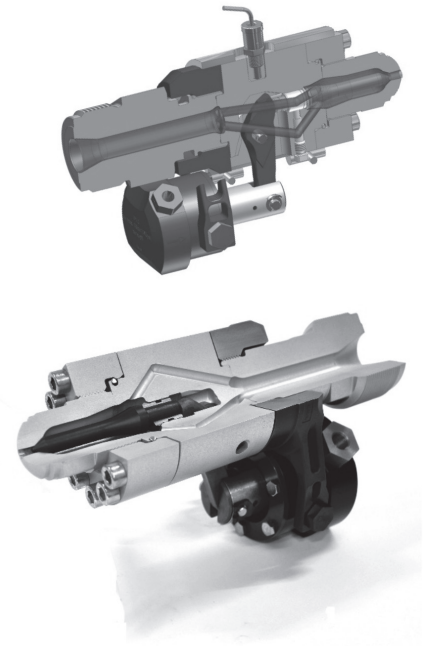
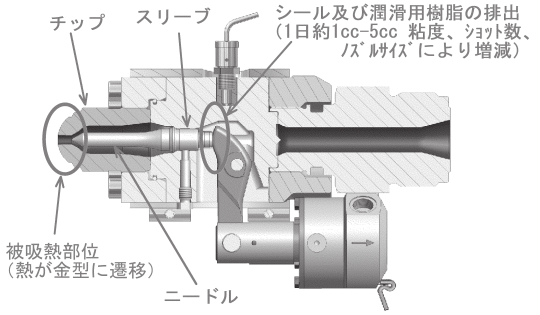


写真１　HP型ニードル式シャットオフノズル

第２表に示すトラブルは、いずれも金型にノズル先端の温度が遷移し、温度低下してしまうことが主たる原因と言える。射出成形の原理を考えれば、射出時以外でノズルが金型に接する必要はない。つまり、このような問題が起きる場合は、射出工程以外、計量や待機時においてノズルは金型から離すべきである。

４．HP型ニードル式シャットオフノズルの構造

HP型の基本構造は次の通りである（写真１）。ノズル中央部からオリフィスに向かってニードルを前後進させることで、ノズルの開閉を行う。閉じる動作はニードル後方に作用点を配したレバーをアクチュエーターで前進させる。ニードルとレバーはリンクしていないので、アクチュエーターでレバーをニードル開の位置に後退させ、ニードルをフリーにさせる。これにより、背圧と射出圧でニードルは後退し、樹脂はスプルー内に射出される。この一連の動作により、ノズルのオリフィス部で樹脂の流路の開閉を行う。この構造により、ニードルは流路を遮断し、射出時以外、金型よりノズル先端を離すことができる（第１図）。



第１図　内部構造

加えて、ニードルとスリーブの間に極僅かな間隙を設けており、溶融樹脂を含侵させている。これにより、凝着や摩耗を防ぎ、要求されるシール性を確保している。これにより、長期間、安定した動作を担保することが可能となる。潤滑とシールに使用した樹脂は、順にスリーブ後方からわずかずつ排出される。

５．シャットオフノズルによるトラブル対策

シャットオフノズルはノズル先端で流路を遮断するため、射出工程以外において金型からノズルを確実に離すことが可能である。これにより、オープンノズルで発生していたトラブルは解決される（第３表）。

ノズル先端から金型への熱の遷移を抑えることで、生産技術的にかなり大きなメリットが生まれる。PPS樹脂以外にも、高温での成形を求められる樹脂全般で、同じメリットを享受できると考える。サイクル短縮及び不良率低減で、５～15％程度の生産性向上が実現可能。

６．オープンノズルでの適用例

オープンノズルの適用例を第４表に示す。

７．上記以外のシャットオフノズルのメリット

先端の熱遷移の抑制以外にも、シャットオフノズルならではの多くのメリットを享受することができる（第５表）。サイクルタイムの短縮や樹脂の劣化抑制などのメリットを考えると、PPS樹脂の射出成形において、ニードル式シャットオフノズルの費用対効果は大変大きいと言える。

昨今のPPS樹脂に求められる性能はより高度化している。ガラスなどによる摩耗はもとより、樹脂本来の腐食性ガスの発生に加え各種添加剤からのアウ

第３表　対策の効果

不良内容	シャットオフノズル化による効果
コールドスラグ	射出時以外は金型より離れているため、ノズル先端の熱が取られないので発生を抑制
先端の過昇温	ノズルの先端の温度がとられないので、逆にせん断発熱の分も温度を低くすることが可能
ドローリング	ニードルでシャットオフし、先端の設定温度を下げられるためドローリング、糸引きを防止
シルバー、ボイド	ニードルでオリフィスを閉じるためサックバック不要となり、不良発生を防止
ウェルドの強度低下	流動初期の樹脂温度が下がらないため、ウェルドの強度低下を抑制
ショート、ヒケ、バリ	流動初期の樹脂温度がさがらないため、ショート、ヒケを抑え、射出圧が下げられ、速度が抑えられ、結果として全体のバランスが向上するためバリの発生を抑制

第４表　オープンノズルの適用例

	適用例１	適用例２
導入理由	縦型機のため、ドローリング等オープンノズル固有の不良対策を行う目的で一旦スプリング式に換装。しかし、固着による作動不良が頻発。そのためエア駆動式のHP0型ニードル式シャットオフノズルに再度換装し当初の目的を達成。	横型機で、ドローリングやコールドスラグの発生、ウェルド強度低下、サックバックによるシルバー等、オープンノズル固有の不良が頻発した。その対策を行うためHP0型ニードル式シャットオフノズルを搭載。
製品	機構部品（インサート成形）	電子機器躯体（薄肉箱形状）
樹脂	PPS＋15%GF　　難燃V0グレード　黒	PPS＋40%GF　難燃V0グレード　青（マスターバッチ）
機械仕様	縦型機　型締550ｔ　スクリュー径30 mm	横型機　型締250ｔ　スクリュー径36 mm
金型仕様	４キャビ　コールドランナー	２キャビ　コールドランナー
適用前	ドローリング、コールドスラグ、ウェルド強度低下等、PPS特有の問題が頻発。	ドローリング、コールドスラグ、ウェルド強度低下等、PPS特有の問題が頻発。
適用後	上記トラブルはすべて改善し、加えてタクトタイム短縮により生産効率も向上。	上記トラブルは全て改善し不良率が激減。加えてタクトタイムの短縮により生産効率が向上し、重量偏差の均一化も実現。

第５表　上記不良対策以外のメリット

同時動作	型開閉と計量を同時並行／同時動作で行うことが可能
サイクルタイム短縮	型開閉の完了を待つ必要がないため、型開閉と可塑化計量動作を同時に行うことができる
可塑化による樹脂物性の低下を抑制	射出以外はすべて可塑化に時間を割けるため、樹脂への負荷を減らすことが可能
可塑化によるガスの発生を抑制	可塑化時間に余裕が出るため、回転数を下げ負荷を減らせるのでガスの発生を抑制
ミューセル（物理発泡）が可能	HPM型（低圧はHPでも可）ニードル式シャットオフノズルを選択することで、ミューセル対応が可能

トガスも合わさり、機器に対する攻撃性はより増していると言わざるを得ない。そのため、当社としても標準、耐摩耗、超耐摩耗とこれまで３種類を用意してきたが、ここにきて耐食耐摩耗仕様も開発することになった。これにより、合計４種類のバージョンを揃えることとなり、顧客の要望に高いレベルで対応することが可能となった。

しかしながら、メカ機構を持ったユニットを装備することになるので、メンテナンスと日々の点検は重要である。不良発生による損耗、サイクルタイムの短縮等とのコストパフォーマンスを考慮し、採用の是非を検討されるべきである。日本流の生産方式の素晴らしい点は、低い不良率と高い生産効率を突き詰めるところに有ると感じる。そのキーとなる精緻な機器を操れる感性は、このシャットオフノズルと相まって、更なる生産技術の高みに達することができると考える。

８．ミューセルへの適用例

ミューセルへの適用例を第６表に示す。

９．メンテナンス

腐食摩耗環境下での成形で重要になるのがメンテナンスと言える。シール面や摺動面が腐食で継続使用できなくなる前にメンテナンスし、腐食の進行を抑えることが肝要である。適切なタイミングでメンテナンスを行い、腐食による部品の固着や摩耗を抑え、常に充分な品質を維持する交換用ノズルを用意することが望ましい。予防保全の考え方に立ち、計画的に予備のノズルと交換し事前にメンテナンスすることで、難度の高いPPS樹脂の成形における安定

第６表　ミューセルへの適用例

導入理由	従来機にてPPS（GF+MD）70 での試作成形を行うが、成形収縮に伴う変形により成形品の精度が不足。（直角度・平面度）そのため新しくミューセルを採用し、成形方法を変更。それに伴い、背圧による樹脂のリーク防止のためHPM0型ニードル式シャットオフノズルを搭載。これにより、ミューセル対応のみならず、寸法安定とPPS特有の不良抑制が実現。
製品	産業用途部品（切削加工金属部品の樹脂化）
樹脂	PPS＋70%（GF+MD）
機械仕様	横型機　型締180 t　スクリュー径40 mm
金型仕様	４キャビ　コールドランナー
適用前	成形収縮に伴う変形により精度不足（幾何公差）。他、PPS特有の問題が頻発
適用後	ミューセル化後、精度不足は解消。加えてシャットオフノズル化の効果も有り、PPS特有のトラブルも解消し、生産安定性が大きく向上

成形が可能となる。当社ではメンテナンス用洗浄炉を常設し、高い要求にこたえられるメンテナンス品質を実現している。

10．おわりに

これまでも当社は時代の趨勢に合わせ、逐次新しいシャットオフノズルを開発してきた。しかしながら、昨今の樹脂の進化進歩は目覚ましく、要求も驚くほど高レベルとなった。従来からのプロダクトアウトの発想では太刀打ちできないことは明白である。特に着目しなければならない問題として、昨今のPPS樹脂や他のスーパーエンプラの振る舞いは特筆に値する。これまでにない高いレベルで耐食耐摩性能の向上が求められ始めたのは間違いない。よって、当社としても今回のPPS樹脂腐食摩耗対策は、新たなステージへ飛躍するきっかけとなったと考えている。今後も市場の声に耳を傾け、足を運び、現場の声を開発に生かすべきと考え、飽くなきチャレンジ精神をモットーに、マーケットインの発想に基づき、常に先手を打って新しい発想のシャットオフノズルを世に出すことに挑戦したい。

【筆者紹介】
神原 直人
Herzog Japan㈱　代表取締役