

● 超臨界流体を用いた微細発泡射出成形(MuCell®)

1980年代に米国MITにより考案された技術で、高圧下で超臨界状態(SFC)とした発泡剤(窒素や二酸化炭素など)を直接、溶融樹脂中に圧入し大量に溶解させた後、金型へ射出し、急減圧させることで多数の微細な気泡を発生させる物理発泡プロセスです。現在はトレクセル社が「MuCell®」の名称でライセンス事業を行なっています。

● メリット

- ・ 軽量化 … ソリッドスキン層と発泡コア層の3層構造となり気泡の分だけの軽量化が可能。
- ・ 寸法精度の向上 … 重量のばらつきは大きくなるが、寸法のばらつきは小さくなる。
- ・ 流動性の向上(薄肉化) … SFCが溶解することで樹脂粘度が低下する。
- ・ ヒケ・反りの解消 … ヒケや反りの原因となる保圧工程を必要としない。
- ・ 成形サイクルの短縮 … 保圧を必要としないため成形サイクルタイムを短縮できる。
- ・ ダウンサイジング(型締力の低減) … キャビティへの充填量が少なくなること、発泡が充填を助けるため、射出発泡は基本的に低圧成形となり型締力が大幅に低減される。

● 課題

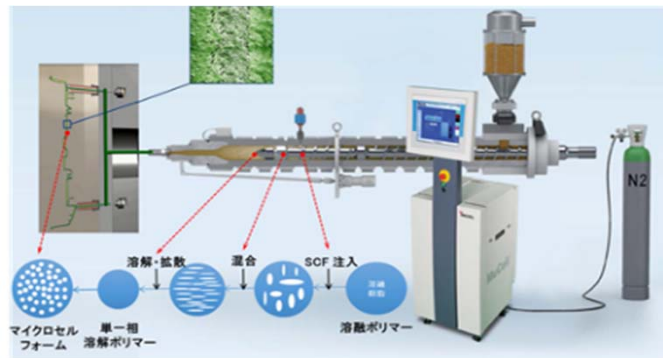
- ・ プリスター … 発泡剤(SFC)の分離が原因で表層と内部に膨れ(大きな気泡)が発生する。
- ・ 後膨れ … 冷却が不十分な状態で成形品を取り出すと気泡が膨張、破泡し膨らむ。
- ・ スワールマーク … 樹脂の流動先端で発生した気泡が破裂し成形品表面で引き伸ばされてできる痕。

● コアバック射出発泡の事例紹介

コアバック法は金型キャビティ容量が可変の金型を使用し、樹脂充填時には容量を小さくしておき、充填後にキャビティ容量を拡大することで気泡発生を促進して、高倍率に発泡体を得る成形法です。

超臨界N₂を発泡剤として、PP樹脂とPA樹脂のコアバック射出発泡を行いました

以下に成形条件および成形品断面の気泡生成状況を観察した結果を示しました。



超臨界発泡射出成形システム (MuCell® T-100J)

発泡射出成形の方法

方法	特徴
ショートショット法	金型キャビティ容積より少ない量の発泡性溶融樹脂を充填し、気泡の拡大によって充填を完了させる方法。
フルショット法	金型のキャビティ容積に等しい量の発泡性溶融樹脂を充填し、固化収縮分を気泡の発生・拡大により補う成形方法。
コアバック法	ムービングキャビティ法とも呼ばれ、キャビティ容積が可変である金型を用いる。発泡性溶融樹脂を充填する際にはキャビティ容積を小さくしておき、充填後にキャビティ容積を拡大することで積極的に気泡発生、拡大を促進させる成形方法。



JSW製電動射出成型機J110AD-180H (型締力110ton)



● コアバック金型：形状：□150mm平板、初期厚さ：1.5mm
コアバック可動距離：最大8.5mm(コアバック後厚さは最大10mm)

超臨界N₂を発泡剤に用いたコアバック射出発泡の事例①(PP樹脂)

No.	試料名	コアバック条件	射出速度 mm/s	セル径(μm)	断面外観	備考
①	PP ¹⁾	2mm⇒4mm		500程度	×	セル径不均一 連泡あり
②	PP (タルク30%) ²⁾	2mm⇒4mm	30	100~500	x~△	セル不均一
③	↑	↑	50	100~300	△	セル不均一
④	↑	↑	100	100~200	△~○	セルやや不均一
⑤	↑	↑	200	100~200	△~○	セルやや不均一
⑥	PP (GF30%) ³⁾	2mm⇒4mm		-	○	目視では良好だが セル径不明
⑦	↑	2mm⇒6mm		最大2mm	×	セル径大、連泡

1) サンアローマ、2) タイセルPP PT6N1(MFR=12)、3) タイセルPP PG6N1(MFR=4)
【成形条件】 シリンダー温度：210℃、金型温度：40℃

超臨界N₂を発泡剤に用いたコアバック射出発泡の事例②(PA樹脂)

No.	試料名	コアバック条件	断面外観	曲げ強さ (Mpa)	曲げ弾性率 (Mpa)	衝撃強さ (kJ/m ²)	備考
⑧	PA6	ソリッド	-	126	2870	360	
⑨	PA6	2mm⇒4mm		50.4	1260	28.2	
⑩	PA6+増粘剤 (1phr) ¹⁾	2mm⇒4mm	○	47.4	1200	72.7	
⑪	PA6+増粘剤 (3phr) ¹⁾	2mm⇒4mm	○	45.9	1250	71.4	SEM写真
⑫	PA6/GF30% ²⁾	ソリッド	-	280	9500	80.0	
⑬	PA6/GF30% ²⁾	1.2mm⇒4mm	○	77.2	3140	25	SEM写真
⑭	↑	2mm⇒4mm	○	92.2	3610	26	SEM写真

1) PA6(アミランCM1017)/メタプレンA3000 【成形条件】 シリンダー温度：240℃、金型温度：80℃
2) アミランCM1011G-30(PA6/GF30%) 【成形条件】 シリンダー温度：250℃、金型温度：90℃~100℃

● コアバック射出発泡まとめ

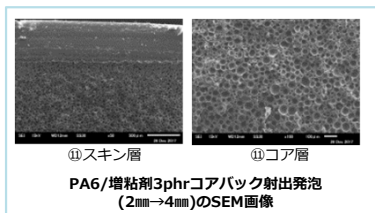
- 1) 一般に溶融粘度の低いPP樹脂は、単独では微細発泡に適しません。タルクやGF等のフィラーを配合することで発泡性はやや改善されました。増粘作用や結晶核の生成促進が原因として考えられます。さらに、セル径が揃ったPP樹脂の微細発泡体を得る方法として、①ソルビトール系結晶核剤を添加して、気泡核の生成を促進させるとともに、低せん断速度領域の樹脂粘度を高める、②長鎖分岐型PP樹脂(LCB-PP)を用いて、ひずみ硬化性を高める等が挙げられます。
- 2) PA6の発泡性も樹脂単独では十分ではありませんが、増粘剤(PTFE)やGFを配合することで発泡性は改善しました。上記事例では、増粘剤として変性PTFEパウダーを添加し発泡性と機械物性の改善を試みましたが、CNFなども高い増粘作用が期待されます。
- 3) 断面を観察するとPP、PA6のいずれも未発泡のスキン層100~500μmと、セル径20~100μmの発泡コア層で構成されています。

● 微細なセル(気泡)を作るには…

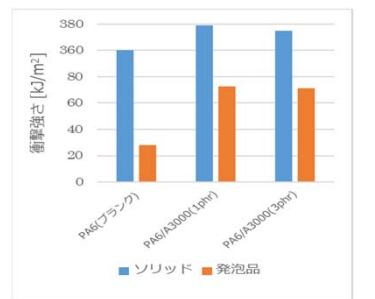
- ・ 核の生成を促進させて気泡の数を増やす。
- ・ 大きな過飽和を生み出せる溶解度の低い気体を用いる(N₂, CO₂)。
- ・ 気泡成長時のせん断速度領域(0.01~1 s⁻¹)における樹脂粘度を高めて気泡の成長速度を抑制する。
- ・ 気泡壁のひずみ硬化性を高める(良好な二軸伸長性や延伸性)。



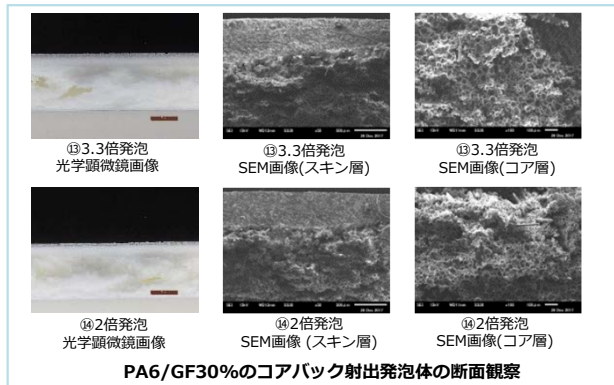
②射出速度30mm/s ④射出速度100mm/s
PP/タルク30%のコアバック射出発泡
(2倍発泡/光学顕微鏡画像)



①スキン層 ④コア層
PA6/増粘剤3phrコアバック射出発泡
(2mm⇒4mm)のSEM画像



PA6/増粘剤(A-3000)添加系コアバック(2mm⇒4mm)
射出発泡体の衝撃強さ



PA6/GF30%のコアバック射出発泡体の断面観察