導光板の射出成形技術

神 山 隆*

1. はじめに

液晶ディスプレイ (LCD) はノートパソコンや携帯電話を始めとしてテレビ、ゲーム機、カーナビゲーションとその利用分野は拡大の一途をたどっており、ほとんどのディスプレイ分野で利用されている。液晶ディスプレイの発展を支える技術として小型軽量化、薄型化、高輝度化、大型化、省エネ化、低コスト化が必要不可欠となっており、それに伴って液晶関連部品のプラスチック化が推進されている。中でも、その中心的技術は液晶への均一で高輝度な反射光を出射するための導光体技術である。

2. 液晶導光体

液晶導光体とは、冷陰極管などの光源からの光をアクリル樹脂板などを通して均一に拡散、反射させ自ら発光することのない液晶表示部へ出射するための媒体であり、冷陰極管、導光板、液晶パネルなどで構成されている。図1はサイドライト型バックライト透過式液晶導光体構造図でアクリル樹脂などの導光板の端面に光源 (冷陰極管) を配置し、導光板の端面から光を入射させ、導光板底面に配置された反射シートから反射した光 (面光源) を導光板上面より出射させ、拡散シートを通して均一に拡散させた光をプリズムシートへ導き集光させて液晶パネル部を照明するものである。本方式では、冷陰極管の径による装置の薄肉化が可能という利点がある。また光源からの熱が液晶パネルへ伝達し難いという利点もある。しかし光の利用効率は数%程度と低く、輝度ムラが出やすいため反射面の工夫が必要となる。一般的には反射面に白色顔料をドット印刷す

図1 サイドライト型バックライト透過式液晶導光体構造図

る方法がとられているが印刷工程が必要でインクの乾燥に20分程度かかるなどの問題がある。図2はフロントライト反射式液晶導光体構造図で外光を照明光源とする省エネ型の反射式液晶である。暗いときは内蔵の冷陰極管から発光される光を導光板を通して入射させる。位相差板により短波長および長波長での光漏れを低減している。外光を照明光源とすることで屋外の明るい環境下での使用も可能で節電効果が高い。ただし、製品の上面に導光板が配置されるため、外観部品としての品質要求が高く、歩留まりに難がある。

3. 導光板の要求品質

液晶ディスプレイ (LCD) 内で光を液晶に導くサイドライト型バックライトユニットやフロントライトユニットは薄型、軽量で大型化、高輝度、輝度均一性の機能が要求されている。その主要部品である導光板 (PMMA) は、そのほとんどが現在射出成形で生産されているが、その要求仕様から高品質、高精度のものが必要となる。光源からの熱に耐えられるだけの耐熱性が要求される。バックライトとしての要求輝度はモノクロ液晶用 $2000 \sim 3000 \text{ cd/m}^2$ 、カラー液晶用 $7000 \sim 8000 \text{ cd/m}^2$ 、液晶テレビ用 $4000 \sim 5000 \text{ cd/m}^2$ である。導光板中の異物は輝度ムラ、輝点、黒点の原因となり、黄変は光線透過率が下がり輝度を低下させる。導光板中のひけも輝度ムラの原因となる。特に微細パターン形状が施されている場合は輝度ムラに大きく影響してくる。また、成形品内部ひずみが大きいと、熱による変形や印刷インクによるクラックの発生が起りやすくなる。内部ひずみが原因で発生する導光板のそりは反射面の印刷時や組立時に問題となる。さらに、成形品の品質管理を行う上で質量や寸法の繰り返し安定性が高いレベルで要求される。

図2 フロントライト反射式液晶導光体構造図

* Kamiyama, Takashi
東芝機械(株) 射出成形機技術部
沼津市大岡 2068-3 (〒410-8510)
2001.7.9 受理

4. 導光板成形機の特長

これらの問題点を防ぎ導光板への要求を満足させるためには次の項目を特長とする導光板用射出成形機が必要である。

- (1) 異物混入と黄変の無い可塑化装置
- (2) 多段射出圧縮装置を搭載した高精度で高剛性な型締装置（転写性向上、残留応力の低減）
- (3) 高応答で安定性の高い射出および計量制御（繰り返し安定性）
- (4) 異物混入防止のためのクリーンルーム対応
- (5) 後工程の削減を可能にした金型構造とその制御システム
ここに当社の導光板用射出成形機を紹介する。

4.1 異物混入、黄変の防止

成形中および成形立ち上げ時/中断時に異物や黄変を出さないバレル、スクリュアセンブリおよび加熱制御を採用している。

- (1) 特殊スクリュ、スクリュチップ、ノズル

溶融樹脂温度の均一化、計量精度の安定化を可能にしたサブフライトスクリュとスクリュおよびスクリュチップの面精度を上げ樹脂の流動をスムーズにする形状の採用により樹脂滞留防止、樹脂付着防止を可能にした。ノズルは外乱の影響を大きく受けない十分な太さ（ヒートマス）を有し、ノズル内部を特殊オリフィス形状とし、熱安定性向上、および糸引き防止も可能にした。

- (2) 特殊加熱制御

温度制御ゾーンを細分化し、各ゾーンごとの最適（特殊PID）温度管理によりオーバーシュート、アンダーシュートを解消。通常の射出成形機は、昇温時にノズル温度が先に設定温度に達し、その後バレル温度が徐々に設定値に達していく傾向にあり、ノズル部の樹脂は長時間高温に置かれ黄変、焼けを発生させることがある。それを防ぐためのノズル温度時間差昇温制御、および長時間の成形中断時の黄変、焼けを防ぐための温度シフト制御を取り入れている。

- (3) ホッパ口防錆処理

ホッパ口は溶融樹脂からの腐食性ガスやホッパ口冷却による結露が存在しやすく錆が発生することがある。それがバレル内に入り異物として成形品に現れることを防ぐため、ホッパ口に防錆処理を施している。

- (4) 樹脂パージ回路

黄変、焼け不良の原因となる長時間滞留していたバレル内樹脂を成形開始前に自動でパージを行い、新しい材料に置き換えることを可能にする樹脂パージ回路を採用している。

4.2 高転写性と残留応力の低減

転写性の向上と均一化および残留応力の低減のために射出圧縮装置（多段圧縮装置：プレストロール）図3を採用している。射出圧縮成形は、型をわずかに開かせることにより無理なく樹脂をキャビティに充填させることができ、それを型締にて圧縮することによりひけ、そりを解消し、転写性の向上と残留応力の低減が得られる。また、金型に微細パターン形状が施されたものは、より高い転写性が要求されるため射出圧縮を高速で行う昇圧（型締圧力）増速回路、高速型内樹脂充填のための高速射出回路を用意している。

4.3 繰り返し安定性

品質の安定性を確保するためには射出速度、および圧力の繰り返し安定性と高応答性が要求される。油圧式射出成形機の場合は、射出速度、圧力サーボ弁閉ループ制御を採用している。また近年、射出制御の安定性から好まれる傾向にある電動式射出成形機は高性能 AC サーボモータを採用、どちらも繰り返し安定性に優れている。

4.4 クリーン性

成形機のクリーン度を確保するため、ダイプレート防錆処理、作動油、潤滑油の飛散防止や加熱制御の無接点化など成形機からの異物やオイルミストを発生させない構造や処理をしている。電動式射出成形機は作動油を使用せず油圧式に比べ、クリーン性に優れている。

4.5 後工程の削減

成形機には型内ゲートカット回路が備えられている。成形品の取出前に金型内でゲートカット処理を行うことができ生産性向上や製品コストダウンに役立つ。金型にはゲートカット機構が必要となる。

5. 導光板成形

導光板の肉厚、金型構造、プラスチック材料により最適成形条件は異なるが一般的な導光板成形での留意点を紹介する。

5.1 金型温度

金型温調機2台でキャビティ側、コア側をそれぞれ別々に温度コントロールしてそりの修正を可能にする。金型温度が低いと薄肉部にひけ、フローマークが発生し、逆に温度が高いとそりの原因となる。微細パターンの転写のためには型温を高めに設定する。また、成形機ダイプレートと金型との間には断熱板を設け熱の遮断をして型温の管理をしやすいとする。

5.2 バレル温度

バレル温度が低いと充填抵抗が高くなり薄肉部にひけが発生したり、ゲート部の応力が高くなる。温度が高いと黄変やヤケの原因となることがあるが薄肉成形品や微細パターンの転写には高めに設定する必要がある。ノズル温度は糸引き、鼻タレによるコールドスラグを防止するためバレル先端部より低く設定する。

5.3 射出速度、射出圧力

比較的厚肉の導光板成形では、射出開始からゲート通過

図3 多段圧縮装置プレストロール

までは低速にして成形品内へのコールドスラグの流入およびシルバーを防止する。ゲート通過後は中速程度で充填し、保圧切替前に速度を落としピーク圧が高くなるのを抑える。薄肉導光板成形や微細パターンの転写には高速射出が有効となる。保圧は肉厚部のひけを解消できる圧力、時間を設定し、必要以上に圧力をかけることはそりあるいはゲート部の応力集中の原因となる。

5.4 計量

導光板は冷却時間が長く、ショット量が少ないため計量時間には余裕があり、スクリュ回転数は低速とし、可塑化中の樹脂に十分な熱量を与え、溶融不良を防ぐことが重要である。背圧は低いと脱気不足によるシルバーやマイクロボイドが発生し、高過ぎるとせん断発熱による黄変やヤケが発生する。また計量遅延は次ショット時間までの計量された樹脂の熱履歴による黄変、ヤケの防止に効果がある。

5.5 成形立ち上げ

バレル温度はオーバーシュートによるヤケを防止するため、成形直前に2段階で昇温し、成形温度に達したらパージを十分行い生産を開始する。昇温完了後、長時間バレル内に樹脂を滞留させることは黄変やヤケの原因となる。成形中断時に成形温度で長時間滞留させても同じことになるため温度を下げ保温状態にする必要がある。温度が下がるまでの間も黄変やヤケが発生するので温度を下げながら連続パージを行う。

6. 成形不良対策事例

6.1 プレストロールによる不良対策

図4に示す14.1インチの導光板（t：2.4/0.8）の成形において反ゲート側厚肉部にひけが発生、ひけを解消しようと保圧を上げるとそりが発生してしまう問題に対し、多段射出圧縮（プレストロール）にて解決した事例を図5に紹介する。薄肉導光板のため、高速充填が行われており、キャビティ内のエアーを充填工程中にスムーズに排気させる必要がある。またそりには成形品内部の残留応力を低減させなければならない。充填中の型締力をバリのでない最低圧力（PCX）にセットし充填中のガスベントを良好にさせ、保圧切替位置にて圧縮を開始する。第1ステップの圧縮力（P1）を低くし樹脂圧にて型開きさせ、第2ステップの圧縮力（P2）を上げキャビ内樹脂を圧縮することで保圧設定を低くしてもひけは解消される。また第3ステップ以降の圧縮力を折線制御で徐々に下げていくことにより冷却中のストレスが解消されそりを防ぐことができる。

6.2 保圧条件設定による不良対策

12インチ導光板（t：8/1.2）成形でひけ、バリを防ぎ、

図4 14.1インチ導光板不良対策

寸法精度を確保する保圧条件の一例として、第1保圧の設定を70 MPaと低くし充填完了時の金型内樹脂圧が過大となることを防止しバリの発生を防ぐ。第2保圧80 MPa、第3保圧92 MPa、第4保圧96 MPaと適切に保圧をかけてゆき厚肉部のひけを防止し寸法精度を確保する。

6.3 成形条件と成形不良の関係

導光板のシルバー不良の原因としてサックバックによるエアーの巻き込み、ノズルからの鼻タレによるコールドスラグが上げられる。また鼻タレが大きくなるとスプルーブッシュ内で樹脂が固化し充填ができなくなることもある。これらに影響を与える成形条件は次のようなものがある。

- サックバック量：長くするとシルバー発生
- ノズル温度：高くすると鼻タレ発生
- 計量遅延時間：長くすると鼻タレ発生
- 取り出し時間：長くすると鼻タレ発生
- 計量プログラム制御：樹脂圧を低くできる。

充填中の射出圧力波形により鼻タレ状況を確認し、シルバーの無い成形条件の最適化を行った。

表1 成形条件による不良対策

	ノズル温度	計量遅延	サックバック	不良率
変更前	253℃	18 s	5.0 mm	20%
変更後	243℃	2 s	3.8 mm	0%

7. 導光板金型と微細加工

7.1 導光板金型

導光板用金型に要求される項目を下記する。

(1) ゲート

ゲートの形状、位置は、それによりキャビティ内の溶融樹脂の流動パターンが異なりフローマーク、ウエルド、ひけなどの不良現象の原因にもなりうるため金型設計には重要な要素となる。

(2) 金型温度構造

金型表面温度は製品内部応力や転写性に大きな影響を与えるため高精度の金型温度制御が可能となる温度構造が必要となる。

図5 プレストロールによる不良対策事例

(3) 製品取り数

1枚取り金型は2枚取りに比べて成形条件出しが容易である。しかしキャビティを成形機センターに配置しずらく、充填中のパーティング面の挙動が均一になりずらいが、セミホットランナーやホットランナーを使用することにより図6のように成形機センターにキャビティを配置することが可能となる。2枚取りは生産効率の向上が狙いであり、キャビティを成形機センターに対しバランス良く配置することができる。しかし2枚取りではキャビティバランスを取ることが最大の課題となり、キャビティバランスを確保するために製品、ランナー、ゲートの金型寸法精度、金型温調精度が重要となる。またバランス調整のための調整機構がランナー、ゲートに必要となる。

図6 ホットランナーによる成形品 M/C センター配置

図7 射出圧縮対応金型構造

(4) 射出圧縮対応

導光板の射出成形ではキャビティ全体の均一流動性を確保するために熔融樹脂の流動過程で射出圧縮を行うケースもある。その圧縮をより効果的に行うために樹脂の流動中にキャビティが樹脂圧で拡大（型が開く）される時、バリを発生させないような金型構造が要求される。PL面フラット構造では射出圧により必要な圧縮代分のキャビティ拡大をしないとPL面が開きバリが発生する。したがってバリを出さない程度の型締めをしておく必要があり、圧縮代はあまり大きく取れない。積極的なキャビティ拡大による圧縮成形に対応するため図7の外周リングスライド方式、全周インロー方式を採用し、射出圧により必要な圧縮代分のキャビティを拡大してもPL面は開かない構造とする必要がある。

(5) 製品離型

製品離型時にそり、変形、キズを発生させないことや微細形状の局所形状崩れを起こさない型構造が必要で、角ピン突き出し、ブロック突き出しのように有効発光面に影響のない外周を突き出す方法の他、コア全体を突き出しコアからの離型は取出機によるものや、PL面に設けたエアノズルからクリーンエアーを吹きつけ離型する場合もある。

(6) 型内ゲートカット構造

成形工程短縮のため金型内でゲートカット処理をする。成形機押出機構により金型内臓ゲートカット機構を動作させる方法と成形機油圧中子回路により金型内臓ゲートカット用油圧シリンダを動作させてゲートカットする方法の2種類がある。油圧中子回路による方法は金型が大型化し費用もアップするため一般的ではない。図8に成形機押出機構による方法を示す。

7.2 導光板金型微細加工

一般的に導光板と冷陰極管の幅はほぼ同幅に設計される。光源が一灯の場合、冷陰極管の両端面には口金などがあり、また導光板に入射された光は直進するのではなく斜め方向に進む傾向にあるのでその両端部は中央部より暗くなる。図9で示すようにX軸、Y軸方向で輝度差が発生し、全面均一な輝度が得られない。そこで均一な輝度を得るために導光板の反射面に細工が必要となる。導光板反射面に白色ドット印刷を施す方法があるが、最近、印刷レスの導光

図8 型内ゲートカット構造と動作

板反射面微細加工への動きがある。また出光面の拡散シート、プリズムシートの代替に出光面にも微細加工を施す方法がとられている。

(1) 導光板反射面

ドットパターンとして円筒型、コーン型、半円球型があり、ミゾパターンとしてVミゾ、Uミゾがある。またCO₂レーザ光をレンズで集光して導光板（アクリル板）に照射することによりスポット径に対応する円錐状の穴を加工する方法もあり、レーザ光を一定速度で走査させると走査速度とレーザパワーを調整することにより一定の幅と深さ形状を持つ微細ミゾ加工ができる。

(2) 導光板出光面

導光板の底面から反射された光を効率良く、出光面から出射させるために出光面に拡散シートやプリズムシートを装着している。これらのシートには一定角度プリズムシート、フレネル型プリズムシートがあり、出光効率を良好にし必要な視野角度範囲に均一、高輝度な光を出射する役目を果している。プリズムシートは高価なためシートの代替または輝度向上のため出光面に微細形状を施しプリズム効果を導光板にもたせたプリズム機能一体型導光板が用いられる。図10にプリズム機能一体型導光板の例を示す。これは反射面、出光面の両側に微細形状をもつ射出成形された導光板である。

8. 微細加工転写性向上事例

その中で射出成形において十分なる転写性が要求される。図11に2.5インチ導光板4個取りの成形における微細加工V溝の転写の表面形状測定顕微鏡写真の結果を示す。成形機は電動式射出成形機EC 100-2 Aを使用した。金型微細加工V溝深さ50 μ mに対し成形品の溝深さ48.8 μ m

図9 導光板内の輝度差

図10 プリズム機能一体型導光板

と、ほぼ100%に近い転写率の結果となった。薄肉導光板の高速充填における射出速度の立ち上がり応答、保圧の切替応答などが高転写率に効果をなした。それと同時に可塑化樹脂の溶融状態も重要な要素であり4.1の(1)で述べた高混練均一可塑化を可能とする可塑化装置も必要となる。図12は電動式射出成形機EC 350-17 Aでの10.4インチ導光板2個取りにおけるV溝の転写状況を導光板の各所で調べた結果で、導光板上のすべての場所ではほぼ100%の転写率が得られていた。次に成形条件によるV溝転写性比較をするため、100%の転写が得られない条件をベースに充填速度、材料の流動性（MFR）、バレル温度、金型温度を振りV溝深さを測定した。いずれも樹脂の流動性を上げ、キャビティ内での樹脂の固化を遅らせる条件が転写に對し良い結果となっている。

9. 電動式射出成形機による導光板成形の効果

9.1 保圧切替応答

15インチ導光板（t：2.4/0.8）を電動式射出成形機EC 350（ $\phi 60$ ）と油圧式射出成形機IS 350 GS（ $\phi 60$ ）で成形性の比較を行った。電動式射出成形機にて条件出しを行い、

図11 2.5インチ導光板微細加工V溝転写

図12 10.4インチ導光板微細加工V溝転写

同条件にて油圧式射出成形機により成形を行った。同条件ではバリが発生し成形品質量も電動機では 148 g のものが 155 g と重くなった。電動式射出成形機と同じ質量の成形品を得るには保圧切替位置の設定を 4 mm から 7 mm まで大きくする必要があった。これは充填から保圧に切替える際いかに速く保圧設定に切替えられるかの保圧切替応答の差が考えられる。油圧式射出成形機では保圧切替えから圧力が保圧設定になるまでに時間がかかり電動式射出成形機に比べ保圧設定が同じでも実際は大きな保圧がかかってしまう。このため電動式射出成形機では充填量を正確にコントロール可能であるが油圧式射出成形機では設定保圧になるまでの不安定要因が存在し成形条件出しが難しい。

9.2 射出開始位置

薄肉導光板になればなるほど充填工程での充填樹脂量の安定性がさらに厳しく要求される。油圧式射出成形機の射出開始位置 62.67 mm (バラツキ 0.02 mm) に対し電動式射出成形機は 62 mm (バラツキ 0 mm) と射出開始位置の

安定性に優れている。

9.3 押出位置

生産性向上を目的にした後工程の削減に型内ゲートカットが採用される。その際、ゲートカット動作に成形機の押出装置が使われるケースが多く、ゲートカットストロークの精度も要求される。油圧シリンダにて正確な位置にゲートカットストロークを制御することは難しいが電動式射出成形機では高性能 AC サーボモータによりバラツキ 0 が実現可能となる。

10. おわりに

液晶ディスプレイは、軽量、薄肉化の要求が益々厳しくなる。その主要部品である導光板がターゲットとなる。この導光板に対する要求を満足させるには、高性能な導光板成形機、金型設計技術、成形ノウハウ、新材料開発が不可欠で、これらをすべて含んだトータルシステムとしての導光板成形技術が今後さらに注目されていくであろう。

書 評

「図解ホットランナーがわかる本」

(株)工業調査会

2001 年 6 月 20 日発行

A5 判・248 頁

岡本 功 著

定価 (本体 3,400 円 + 税)

ホットランナーがこの世に誕生しておよそ 30 年になります。それと時期をほぼ同じくしてその開発に携わり今日に至った著者による、「ホットランナー辞典」ともいえるお薦めの解説書です。ホットランナーシステムの効用はよく知られているようですが、著者が本書でも述べているように「使わなくても成形できる」といった理由で採用に至らないことも多いようです。これはホットランナー技術についてあまり知らないにもかかわらず、知っているつもりになっている、すなわち情報の不足によるところが大きいのではないのでしょうか。本書はそのような情報不足を補う解説書としてまさに打ってつけの一冊であります。初級技能者のみならず一般の方々でも理解しやすいように、成形におけるランナーの定義や役割から具体的なホットランナーの使い方まで、多数の図や写真を駆使して分かりやすく解説されています。また、副題に「省資源・省エネルギーの成形と金型」とあるように地球環境をも視野に入れるとともに、ホットランナーを用いることによるコストダウン効果についても触れられているため、厳しいコスト競争にお悩みの方への一助となるはずで、多様な内容がすっきりと整理されており表記も平易なので、読み物としてご利用ください。

でも楽しめることと思います。以下に各章のタイトルをご紹介します。

- 1 章 ホットランナーって何ですか
- 2 章 ランナーは必要ですか
- 3 章 どうやって成形するのですか
- 4 章 どうして広く普及しないのですか
- 5 章 ホットランナーの種類と使い方
- 6 章 どんなメーカーがあるのですか
- 7 章 世界の代表的メーカーとその技術
- 8 章 日本の技術もあるのですか
- 9 章 設計上の注意点は
- 10 章 どんな利点があるのですか
- 11 章 ホットランナー成形のコストダウン効果
- 12 章 その他にはどんなことができるの
- 13 章 環境に優しい技術ですか
- 14 章 具体的な省エネルギーの例は
- 15 章 ホットランナー成形に必要な設備
- 16 章 具体的にどうすれば実現しますか
- 17 章 ホットランナー成形の将来は

(大阪市立工業研究所 泊 清隆)