

精密射出成形模具設計 與 製作技術

日刊工業社 編

陳介聰 編譯

復文書局

序

最近工作機械製造廠大量投入模具加工機的開發，而且射出成形機隨著電子控制零件的發展，也出現了新機種，電腦製造商也以塑膠模具的CAD/CAM為目標，展開了一場商業戰。

塑膠零件最近在光學器材、音響器材、映像器材、汽車零件中擔任了“輕薄短小”的重要任務，而成形品的80%決定於模具，因此塑膠模具在複雜化、多樣化的要求下，必須有千分位（ μ ）的高精度。

有鑑於此，筆者特將日本沖壓技術12月臨時增刊號的「向塑膠模具的高精度化挑戰」一書，譯成中文，供模具業者、射出成形業者、及其它有關業者參考，本書從樹脂、模具設計、製作，模具材料及成形技術等各方面，來探討塑膠模具高精度化的配合事項，並有豐富的事例介紹，相信會讓上述業界對於精密成形有更深一層了解。

目 錄

第一章	熱可塑性樹脂	高野 菊雄...	1
第二章	熱硬化性樹脂	英 一太...	13
第三章	精密射出成形用模具設計的注意事項	村上 宗雄...	19
第四章	模具設計的考慮事項	西村 敬一...	42
第五章	最近的精密射出成形與模具的動向	小田 輝久...	55
		中原 俊一	
		三蒲 泰	
第六章	CAD/CAM 模具製作	春川 茂久、西田眞生、 船山裕敬	66
第七章	CAD/CAM 的發展	龜田敏夫、阿部 徹	83
第八章	NC 及中心切削機——模具加工合理化	森下 浩次...	92
第九章	機械加工法——模具加工合理化	鳴島 弘 ...	100
第十章	放電加工機	高橋 能正...	109
第十一章	線切割放電加工	戶田 文夫...	123
第十二章	NC 研磨加工	相沢 孝之...	129
第十三章	銑床加工	西倉 正治...	141
第十四章	治具研磨加工	島中 徹 ...	152
第十五章	電鑄加工	梅田 政幸...	157
第十六章	熱處理加工	岡本 伸夫...	162
第十七章	利用 logic seal 實施模具排氣與冷却	利雄...	168
第十八章	工程塑膠用耐蝕、耐摩耗性模材	浜小路 正博...	185
第十九章	工程塑膠用耐蝕、耐摩耗性模材	內田 幸男...	198
第二十章	工程塑膠用粉末高速鋼模材	丸山 嘉永...	210
第二十一章	模具零件的標準化	川口 昌己...	223

第廿二章	模具標準零件——HASCO	土橋 達雄	234
第廿三章	射出成形機需要的背景與技術開發動向	飯田 惇	244
第廿四章	精密模具與射出成形機(1)	近尺 源憲	255
第廿五章	精密模具與射出成形機(2)	橫田 明	266
第廿六章	精密模具與射出成形機(3)	東海林 昌弘	276
第廿七章	射出成形機的FMS	屈 信夫	291
第廿八章	射出成形中成形品的安定化	西村 敬一	299
第廿九章	精密成形技術與熱澆道模具設計例	望月 克仁	311
第三十章	精密成形品的精度與模具	增沢 芳紀	331
第卅一章	分割式型蕊的高精度精密模具	猩猩 精 機	349
第卅二章	中級照相機	佳能(株)	356
第卅三章	照相機本體	長津製作所	361
第卅四章	小形印表機框架	精工電子工業	364
第卅五章	齒輪	三琇(株)	369
第卅六章	手錶面盤	諏訪精工舍	373
第卅七章	有凸輪形狀的機能零件	工研(株)	377
第卅八章	主框架	東伸精工	382
第卅九章	捲揚機上板	今野工業所	386
第四十章	高精密模座	光和精工(株)	390
第四十一章	由統計來看塑膠模具		392

第一章 熱可塑性樹脂

熱可塑性塑膠依其生產量有下列的分類：

- (1) 一般廣用的塑膠（約 100 萬噸／年以上的 PE、PVC、PS、PP 等四大廣用塑膠）。
- (2) Methacrylic 樹脂（約 11 萬噸／年的生產量，不包括四大廣用塑膠及下一項的工程塑膠）。
- (3) 工程塑膠（如表 1 的 1 萬噸／年以上的泛用工程塑膠，與使用量很少的特殊工程塑膠有很大區別）。
- (4) 其它。

構造微細的結晶性塑膠（PE、PP、Nylon、POM、PBT、PET、氟素樹脂、PPS、TPX 等）和非結晶性塑膠是可以區別的，雖然是結晶性塑膠但並非 100% 的結晶化程度。結晶構造依其結晶化程度的多寡，其性質有所變化。從精密成形的觀念來看，結晶性塑膠的成形收縮率在 1~3%（依塑膠種類、成形品的厚度、成形條件而變）非結晶性塑膠收縮率在 0.2~0.8%。前者的尺寸誤差也有變大的可能，且容易因成形品不平均的收縮，引起變形。這就是大部份使用結晶性泛用工程塑膠作為工業用零件，在精密成形時的主要問題。

還有，為了提高塑膠的性能，漸漸使用各種複合材料。因複合化產生的物性的異方向性和模具的磨耗都很容易引起尺寸上的問題。這些在精密成形上是很重要的問題。

在此，對於精密成形的現狀，作一說明，並對提高精度時，該考

2 精密射出成形模具設計與製作技術

慮的事項，提出我的看法。

《爲了達到高精密化》

爲了使汽車、家電、機械電子零件一般工業用零件等輕量化，降低成本、提高生產性等特徵，而採用塑膠。且隨著使用範圍的擴大，對尺寸公差的要求，也更加嚴格。塑膠與金屬比較，線膨脹係數大，因溫度變化而產生的尺寸變化也大。

當要求與金屬同樣的尺寸公差時，則無法以塑膠來替代，有時候有成形技術及塑膠的精密尺寸測定方法上的問題等。因此，爲達成高精密化，必須集結各類範圍的技術。其概要如下所述。

(1) 樹脂：

品質的均一性最爲重要，在特性方面有流動性、收縮特性、熱安定性、離型性等問題。且在複合材料上容易出現物性的異方向性，成爲一個瓶頸，因此對於材料設計、成形技術等都要加以考慮。

(2) 成形品的形狀設計：

零件的精密化最重要項目之一是針對樹脂的特性，設計出易於成形的形狀。因此樹脂特性及成形性的有關數據是不可欠缺的。

(3) 模具：

頂出方式、進澆口、橫澆道的設計、排氣溝、及模具溫度的均一性（溫調方式）等對於精密化成形非常重要。另外一項必需記住的是，因應磨耗、腐蝕等問題對於模具材質的選定要慎重。

(4) 成形機：

成形條件的安定性對促進精密成形很有幫助，今後對於這項要求將更爲強烈。

(5) 成形條件：

依據實驗計劃的援用，如果能求出適當條件的組合，對於減少尺寸誤差將很有幫助。

(6) 計測技術：

塑膠的硬度、彈性係數比金屬小，採用與金屬相同的測量方法將會因測定壓產生成品變形，造成測量上的誤差。沒有精密尺寸測定技術，則無法判斷成形品的精密性。

綜合上面各項，欲達成精密化，必需要有各各範圍的協調合作。
《精密成形的現狀》

成形時尺寸的誤差是因成形條件的誤差而使成形收縮產生變化。表1為精密級成形的尺寸差。非晶性塑膠中的A、B、C與結晶性塑膠的D、E、F的公差，有很大的不同。這是由於這兩類塑膠的收縮率不同。如圖2所示，在比容積的溫度變化曲線中，依其結晶化不同而有急激的容積變化，即結晶化部份和非晶部份的比容積不同所產生的現象。

雖然成形收縮率大，若成形條件並未造成變化的話，尺寸誤差不大。但，實際上收縮率的絕對值很大的話，成形條件的主效果變大，易造成尺寸誤差。

成形收縮率是依據肉厚、模具溫度、樹脂溫度、模穴內壓而變化，因此，精密成形之道在於減小這些的誤差。

《精密成形的模具》

精密成形幾乎由成形品形狀設計、模具設計、模具工作精度來決定，而模具所佔的比例很大，在此介紹一些有關模具設計的話題。

1. 一次成形多個時的考慮事項：

為了減少成形品的品質誤差，以一次成形一個最為理想，但從成形實用的觀點來看，以一次成形多個較有利。對於一次成形幾個模數，應該先對於生產量、品質、成本、成形機的大小加以考慮後再做決定，若模具成本的回收由其它項目分攤時，大都採用一次成形多個。但是，模具費用只由成形品來分攤時，則總生產量少，使用較少模

4 精密射出成形模具設計與製作技術

穴數比較有利。總生產量多採用多模穴數時，必需要有提高尺寸精度的對策。即一次成形一個時，如圖 1，例如對於聚縮醛 (polyacetal) 成形品尺寸公差是 $\pm 0.2\%$ 左右，模穴數增加 1 個的話公差約增大 5% ，模穴數在 8 個時約 1.4 倍，即 $\pm 0.28\%$ 。因此設計橫澆道 (runner) 進澆口 (gate) 時，必需考慮能使各模穴的壓力均一，模穴的排列能使橫澆道 (runner) 的長度均等。

照片 1 是以 8 個模穴為一組，總共四組電熱管，做成 32 模穴半熱態橫澆道的模具，測定 acetal copolymer (縮醛共聚物) 的尺寸誤差如下：

- (1) 單模穴的尺寸誤差

$$\frac{3\bar{\delta}}{x} \times 100\% \quad 0.035 \sim 0.040\%$$

- (2) 一組的尺寸誤差 $0.10 \sim 0.12\%$

- (3) 32 個全體的尺寸誤差 0.12%

即全體的誤差可以用冷式橫澆道 (cold runner) 成形 1 組時的誤差來做決定，如果冷式橫澆道部的尺寸誤差可以減小的話，則多數模穴成形時，其精度會更佳。圖 1 中一次成形 8 個模穴的尺寸誤差大的原因是內側模穴群和外側模穴群尺寸不一樣。

採用短射法 (short shoot) 來調查各模穴流入狀況，雖然橫澆道 (runner) 為等長，但流入的型式却不相等。這是受變更流動方向的抵抗不同而影響。即在流體分歧的地方，有樹脂滯留，則分歧後橫澆道的長度受影響。而且，橫澆道愈寬其尺寸誤差愈小，若橫澆道為原來斷面積的 4.5 倍時，則誤差值 $(3\bar{\delta}/x) \times 100\%$ 為 $0.03 \sim 0.04\%$ 。

最初的誤差 0.10% 左右，因為此精密公差小，連續成形可以保

持在這個限度內的話，一次成形 8 個模穴的精密級成形則該沒問題。

若能採取橫澆道中壓力損失和流動慣性的流動抵抗的相關對策，則也可以做超精密成形。

爲了減少多模穴成形時的誤差，應該考慮下列事項：

- (1) 半熱態橫澆道時採用的模穴數比採用冷式橫澆道爲少，則可減少尺寸誤差。
- (2) 配置等長的橫澆道時，由於流入的方向差，可能產生不同的模穴內壓。因此對於橫澆道配置的檢討極爲重要。
- (3) 橫澆道中的壓力損失小，同時充填性佳，則尺寸誤差小。橫澆道中的壓力損失能於基準範圍內，則橫澆道的設計才合理。

2. 模具溫度調節：

模具溫度對於成形循環時間、成形品品質（尺寸誤差、強度、外觀）皆有影響，因此模具設計時，必需加以考慮。

從精密成形的觀點來看，模具的溫調有下列問題：

- (1) 模具表面溫度的誤差會造成收縮率的誤差，因此尺寸的誤差也大。
- (2) 不均勻的模具溫度使成形品變形，造成形狀精度的不良。

模具溫度調節的設計，一般依照下列順序：

- (1) 必需除去的熱量的推定

由每一次射出的重量、成形循環、該冷却的溫度差來做決定。

- (2) 所用溫調液體的必要最少流量的推定，儘量減少模具溫調出入口溫度差。

- (3) 境膜傳熱係數的推定

此係數表示在冷却孔壁面熱移動的容易程度，此值愈大則可使較多的熱量由冷却媒體帶走。這個係數是傳熱面積計算上重要的值。如圖 3 所示例子。乙二醇（E.G）比水的冷却效率高，實際上必需考慮

6 精密射出成形模具設計與製作技術

冷却孔中水垢及鐵銹的影響。在此，冷却媒體的流量以 $10 \sim 30 \text{ l/min}$ 來計算的話，境膜傳熱係數大，則效率大。雖然溫調泵浦的吐油量在無負荷情況下很大，但由於在冷却孔中的壓力損失，使有效吐油量減少了。因此無法獲得預期效果。特別是成形循環短的場合，對於這些都要注意。

(4) 傳熱面積的計算

爲了除去必要熱量，如圖 4 所示爲境膜傳熱係數和傳熱面積的關係。在此所計算的傳熱面積較現在一般設置的冷却孔傳熱面積爲大。因此，如何設計效率好的冷却孔，極爲重要。

(5) 冷却孔的排列

爲使傳熱有效的動作，冷却孔的位置排列很重要。即成形中的模具表面溫度分布盡量能均勻。

採用如圖 5 的模具構造，成形條件和模具溫度分布，用表 2 的條件做成形、溫調，而且模擬實驗系統來推定模具溫度分布，其分布狀況如圖 6。

爲了縮小分布範圍，最好改變模具構造、溫調條件、成形條件來檢討，模穴與冷却孔的距離對溫調有影響，最好在模具強度允許的範圍內，使冷却孔接近模穴。而且依模具材質的不同，溫度分布也會不一樣，傳熱不好的模材，分布較廣，成形循環短則溫度分布的均一性不佳，由此上列各項因素，而發生尺寸誤差、變形，因此模具的溫調非常重要。

模具溫調的另一個問題是細長梢及成形中溫度易上昇的型蕊冷却問題，這類模具冷却不完全，則成形循環時間延長，引起變形，尺寸精度不良。爲溫調設計上的重要一點。

3. 如何提高齒輪精度

由於成形而引起收縮，模穴必需預估收縮率的大小來製作。但，製作時的推定收縮狀況和實際的收縮狀況不一樣的話，則成形後的齒輪無法得到正確的齒形。爲了提高齒輪的精度，必需做種種的檢討。master-gear 的製造法，模穴的製造法（電鑄、放電加工），模具構造（進澆口、橫澆道、溫調等）爲檢討要點。

其中master-gear 可依下列任一方法來做：

- (1) 將預估的收縮率以“不完全模數切削刀具”作爲master - gear 的切削。
- (2) 用“diametral pitch cutter”作不足的收縮率部份的轉位切削。
- (3) 製作壓力角 20° 的齒輪時，採用 $14\frac{1}{2}$ 的標準切削刀具做成形收縮率的轉位。（此時的收縮率在3%時，節點的壓力角爲 20° ）。
- (4) 線切割放電加工法。

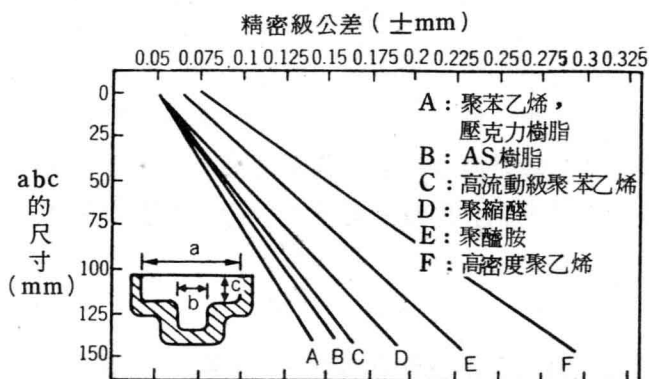
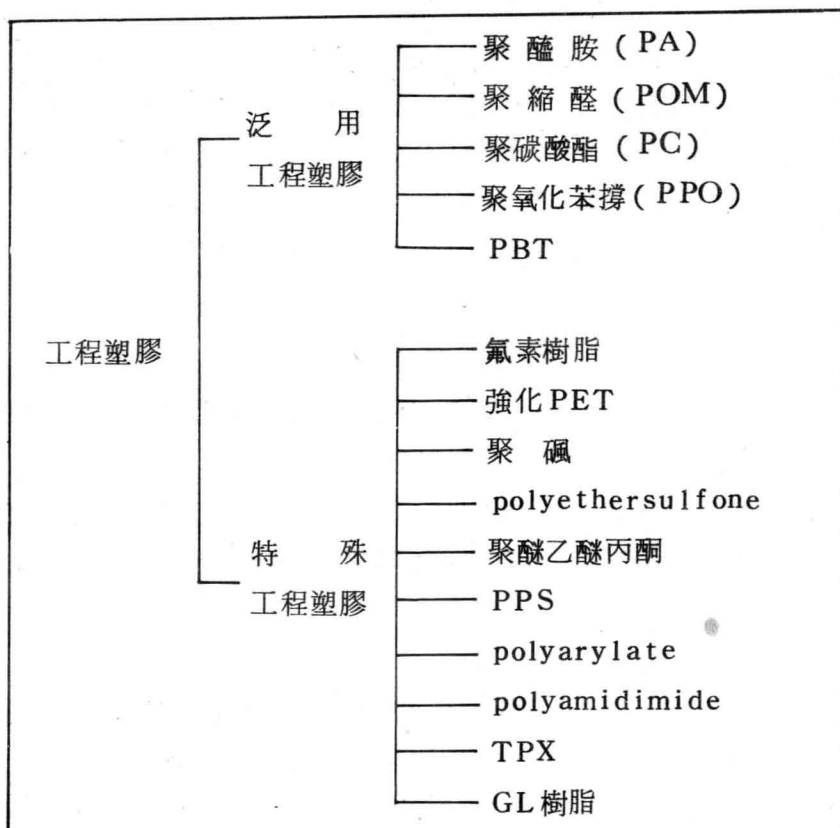
上列場合成形時是否收縮後與模穴相似或部份的收縮不同，有關這類的相互補正，在文獻上曾經發表過。依成形品的厚度、齒形的大小、成形條件的不同，不一定有相同傾向的收縮。

爲了提高齒輪精度，以上述方法要做出正確齒形的話，必需把真圓度、平面傾斜的變形防止對策也一併列入檢討，其中特別要注意因形狀設計而造成變形，降低齒輪精度。如下面的例子：

- (1) 如照片2，最外周部份有補強肋連接，則外徑的真圓度不良。設置放射狀的補強肋時最好不要與最外面圓周連接。
- (2) 當發生如圖7所示的波浪狀變形時，將影響齒輪精度。必須依據一般不變形的原則來設計形狀。

考慮上述各點，製作模數0.5mm，齒數40，厚度1.5mm齒輪，採用3點進澆方式的模具，以縮醛共聚物（acetal copolymer）

表 1 工程塑膠的種類

圖 1 各種塑膠的成形尺寸公差
(SPI : 美國標準)

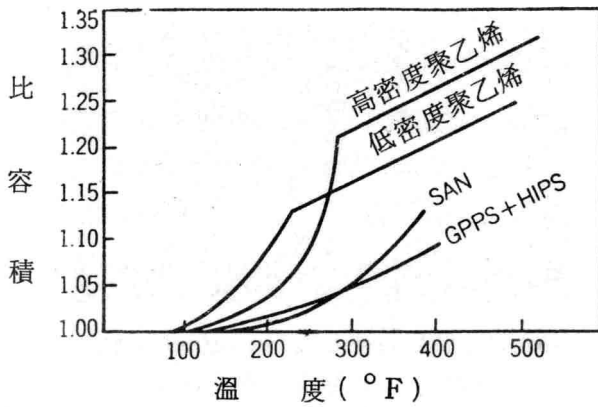


圖 2 苯乙烯系塑膠、聚乙烯的比容積及溫度變化

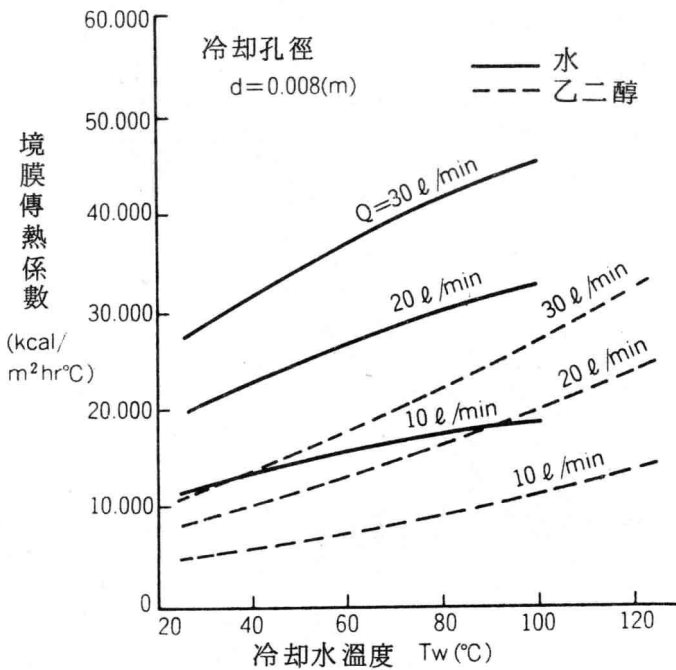
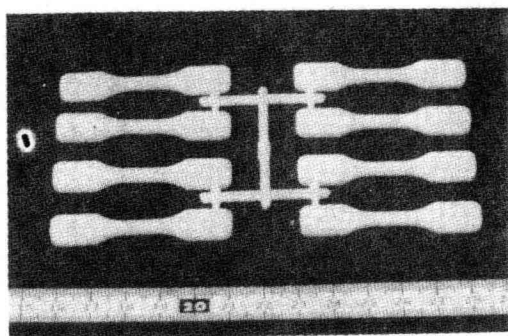


圖 3 境膜傳熱係數



照片 1 8 模穴的排列狀況

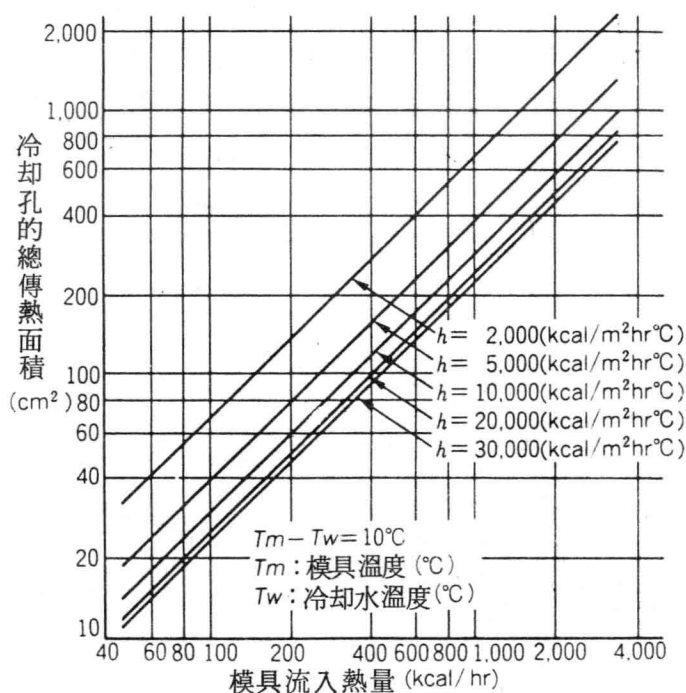


圖 4 冷却孔的傳熱面積

表 2 模具構造及成形條件

模具構造 (冷却孔)	模 具 材 質	S 45 C
	冷 却 孔 徑	8 mm
	深度	12.5 mm
成形條件	樹 脂 溫 度	200 °C
	冷 却 水 溫 度	90 °C
	流 量	15 ℓ/min
	循環時間 (射出+冷却) (全)	20 sec 24 sec

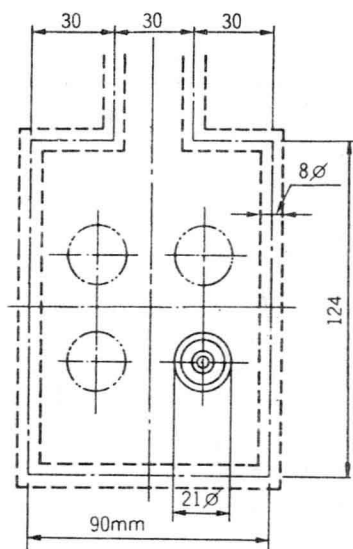
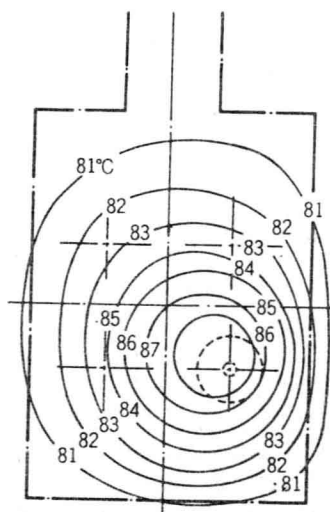
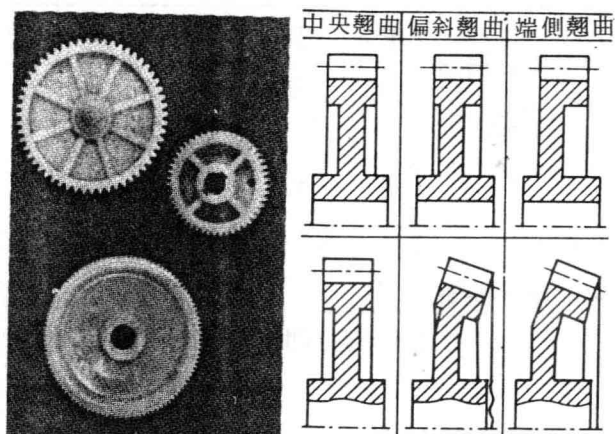


圖 5 試驗用齒輪模具的模具構造

圖 6 模具表面溫度的計算結果
(以單模穴連續成形中的狀態)



照片 2 齒輪的補強肋 圖 7 齒輪的翹曲形狀與變形形狀例

表 3 模數 0.5 的聚縮醛齒輪精度

		14 ½度 切削法	半 端 模數法	線 切 割 放電加工法	機械切削
單一節距誤差		JIS 2 級	JIS 2級	JIS 3 級	JIS 0 級
鄰接節距誤差		3	4	4	2
累積節距誤差		3	4	3	0
法線節距誤差		5	2	2	0
齒形 誤差	左齒面	2	5	2	3
	右齒面	3	3	2	3
嚙 合 誤 差		5	5	3	2

成形，可以得到如表 3 的結果。雖然無法做出可以判斷模穴製作方法優劣的實驗精度，但至少可以成形出嚙合精度在 JIS 3 級以內的 成形品。

第二章 熱硬化性樹脂

決定成形品的物性與尺寸的主要因素有材料、成形機、模具、成形技術等有關因素。這些的因素相互牽連，綜合其結果才產生成形物的形狀。若欲決定尺寸、物性的話，必先討論精密成形，以材料、成形機、模具、成形技術各各的立場，來考慮個個的精密成形發展。

材料製造廠、成形機製造廠、模具製造廠、模具製造者各各存在於獨立範圍內，由於各各企業的努力，對於精密成形的適應應該不會有問題，但是成形品是從材料到成形加工綜合技術、設備、模具的能力等的結果。今後爲了適應精密成形時生產性的提高、精度的提高等的要求，必需進行材料製造、成形機製造、模具製造之間的技術資料交換及回輸。

如此說來精密成形的關係是從材料到成形品止，加工程序的緒因素複雜交錯的配合。取出這些因素，評價各各因素對於最後成形品的物性與尺寸的影響，有很多困難點，特別是在熱硬化性樹脂，由於成形時所使用的材料是具有反應性的樹脂，成形性的時間變化比熱塑性樹脂大，成形性很難以溫度、壓力等參數來規定。半導體零件的封閉成形用的材料（epoxy silicone等熱硬化性樹脂）是在製造後立刻冷藏保存，輸送中也冷藏，成形時才從冷藏庫取出使用，可見其高感度之程度。

對於這種樹脂，在模具設計，製作上該注意那些事情呢？其有關模具方面的建議，是本稿的目的。但是材料是製作成形品的基本素材，模具是成形時的裝置，最終的成形品除了受這些因素影響外，也受