

IV. 塑膠模具之修補焊接

1. 前 言

塑膠模具，由於(1)設計變更或修正作業的錯誤，(2)使用中的磨耗及缺損部位的修補等需要，實施修補焊接 (Build-up welding) 的機會很多。

塑膠模具的修補焊接部，在品質上有下列的要求。

- (1)不得有任何微細的焊接缺陷。
- (2)模材與焊接部的硬度差與光澤差要小。
- (3)須實施蝕花加工的模具，不得發生蝕花不均現象。

爲了能滿足此等品質要求，修補焊接作業準則，一般都根據施工人員的過去經驗來決定。但是，模具因爲有使用壽命上之要求，需要採用較硬的鋼材，一般其厚度大，且形狀也複雜，所以有過由於焊接作業的不當而引起重大事故之例。

模具修補焊接技術被認爲是各施工人員的秘訣 (Know-how)，而所公開的技術資料很少。在此，特參考本公司的有關模具修補之試驗資料，以及各種鋼料所公開的焊接技術資料，來說明塑膠模具修補焊接的要領。

2. 塑膠模具修補焊接的基本作法

2.1 焊接方法的選擇

模具的修補焊接通常採用 TIG 焊接 (鎢極電弧氬焊) 或被覆電弧焊接。

TIG 焊接，雖然焊接效率較差，但有①因焊接金屬中的含氫量少，不易發生焊接龜裂，②焊接金屬中的含氧量少，夾雜物少，③容易防止氣孔之發生，④焊接部與模材間的龜調差小等品質上的優點多。

被覆電弧焊接爲簡便的方法，其焊接效率優於 TIG 焊接。但採用焊接常用之低氫系焊接棒時，在焊接開始部位容易有氣孔產生之缺點。

對模具的修補焊接來講，焊接部的品質比焊接效率更重要，因此被覆電弧焊接只宜應用於形狀上較難採用 TIG 焊接的部位，其他則儘可能採用 TIG 焊接來施工。

2.2 焊接缺陷的防止

2.2.1 焊接龜裂

焊接龜裂常發生在焊接金屬部位或發生在母材熱影響區部位者。對模具的修補焊接來講，焊接金屬龜裂的例子甚少，假如發生則其原因大多在於所使用的焊條不當。母材部熱影響區所發生的龜裂大多起因於焊接作業的不當，同時在模具修補焊接中較容易發生。因此，在此就母材部的龜裂防止對策加以說明。

母材部的龜裂，如圖 9 所示因為受焊接熱之影響使其組織發生變化，故常發生在母材與焊接金屬之接觸面附近，此部分叫做焊接熱影響區（Heat Affected Zone 簡稱 HAZ）。

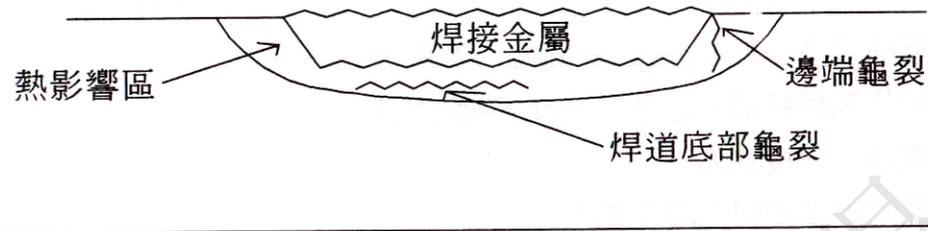


圖 9 母材龜裂之例

此種龜裂，大多在焊接部的溫度降到比較低時才會發生。有時焊接後經過數天才發生龜裂。此龜裂的發生被認為由下列三種條件組合而成。

- (a)熱影響區的淬火硬化程度。
- (b)焊接部的含氫量。
- (c)作用於焊接部的應力。

(1)熱影響區的硬度

塑膠模具用鋼，大多為析出硬化鋼 NAK55，NAK80，NAS1C 及預硬鋼 PXZ, PDS3, PX4 等。析出硬化鋼在焊接時（如圖 10 所示）熱影響區會軟化，但這些鋼種具有焊接後的熱處理（時效處理）可以恢復母材之硬度的特性，因此被認為是焊接性良好的鋼材。但是，預硬系鋼種（如圖 11、圖 12 所示），其熱影響區會硬化。PDS5 焊接熱影響區的組織如照片 4 所示，變為此種硬化組織時容易發生龜裂。

為了防止龜裂的發生，可以將熱影響區的最高硬度當做一種尺寸，來作焊接加工。例如以碳鋼為例，若能使熱影響區的最高硬度控制在 Hv350 以下就可以防止龜裂發生。

熱影響區的最高硬度，大致依母材成分和熱影響區的冷卻速率而定。由母材成分推算熱影響區最高硬度時所使用的碳當量（Ceq）可用式(1)計算。

$$Ceq (\%) = C + \frac{Mn}{6} + \frac{Si}{24} + \frac{Ni}{40} + \frac{Cr}{5} + \frac{Mo}{4} + \frac{V}{14} \dots\dots\dots(1)$$

但式(1)主要是以低合金強度鋼為對象所求得的實驗式，所以對化學成份或組織上有很大差異的鋼材，則不適用。

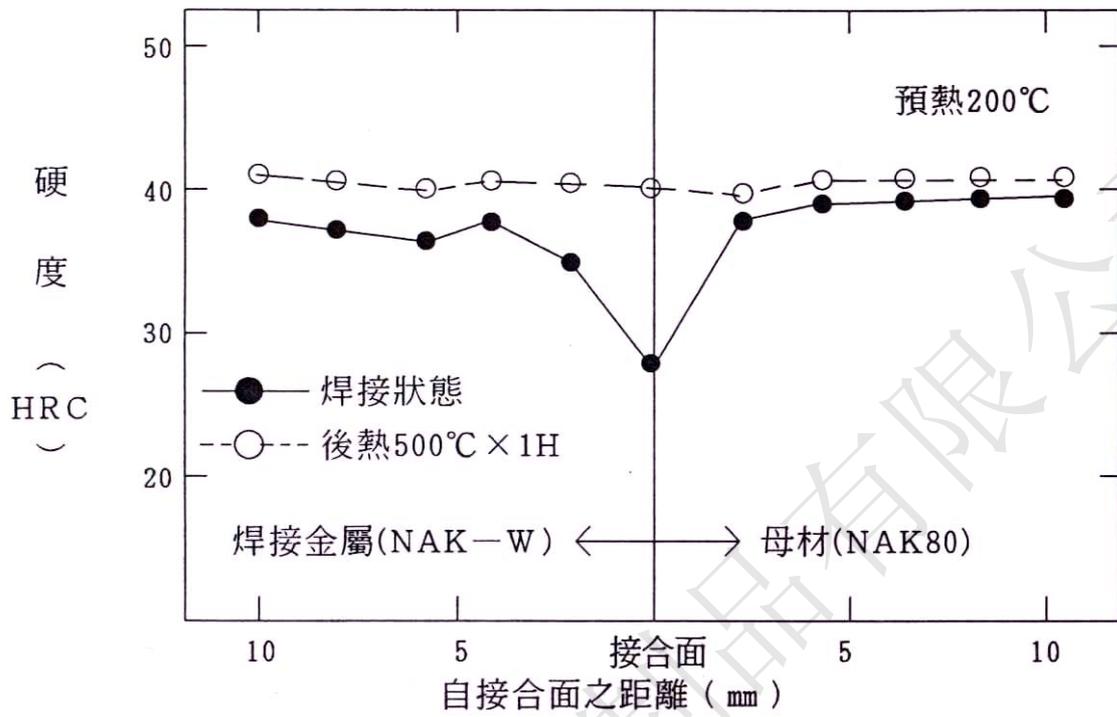


圖 10 NAK80 修補焊接部之硬度



— 焊接金屬 ————> | <———— 熱影響部

照片 4 接合面附近之硬化組織

由式(1)所得的碳當量愈大，表示此材料愈容易硬化，因此爲了要壓低熱影響區最高硬度，則須緩和焊接部的冷卻速率。爲達此目的，焊接前必須預熱模具。

預熱溫度也要考慮板厚與焊接施熱來決定，但因模具的厚度通常不會太薄，同時TIG 焊接與被覆電弧焊接的標準焊接施熱量較少，所以簡便上以式(2)來概算預熱溫度。

$$\text{預熱溫度 (}^{\circ}\text{C)} = \{C_{eq} (\%) \times 500\} - 100 \dots \dots \dots (2)$$

如實施瓦斯切割，挖溝 (gouging) 等，作業時母材會被局部加熱至高溫，故也須預熱，而在作業中須設法使材料不會冷卻到預熱溫度以下。

(2) 焊接部的含氫量

焊接中熔融金屬會從周圍空氣吸進氫氣。此氫氣隨著焊接金屬的冷卻呈過飽和狀，一部份被放出大氣中，一部份擴散到母材內部。其中部分積集在硬化部而引龜裂。圖 13 表示擴散性氫量對焊道底部龜裂的影響。

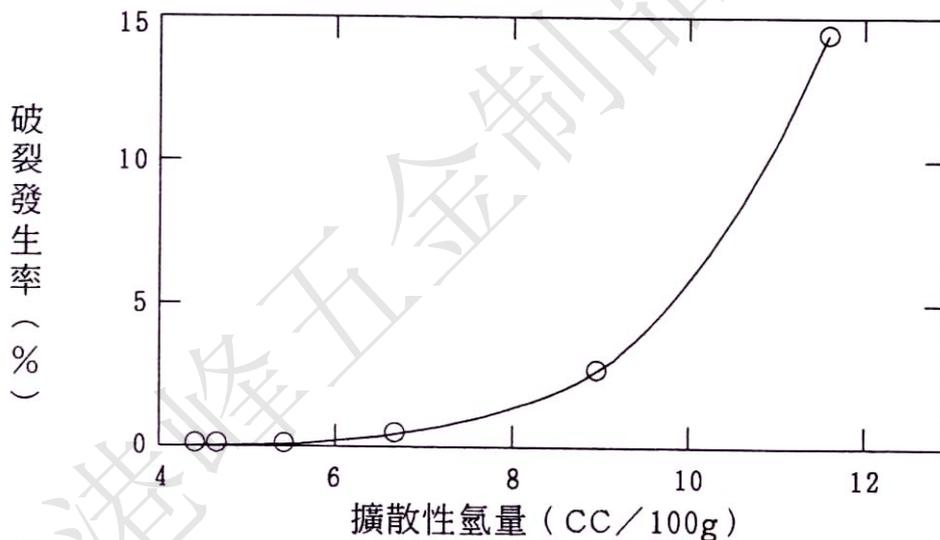


圖 11 擴散性氫量對焊道底部龜裂之影響

如圖 14 所示，隨著擴散性氫量的減少，熱影響區之發生低溫龜裂的最高極限硬度越高，因此採用吸收氫氣較少的焊接方法時，可得較低預熱溫度，而 TIG 焊接便有此優點。

爲了減少焊接部的氫量，首先要儘量減少被焊接金屬所吸收的氫量。TIG 焊接，由於使用有露點控制的氫氣焊接而減少電弧氣的氫量，因此通常可作低氫量的焊接。被覆電弧焊接，因爲焊條的被覆劑中含有氫，所以焊接金屬的氫吸收量較多。因此使用被覆焊條時，宜選用低氫系被覆焊條。又被覆焊條，在貯存時其被覆劑會吸收空氣中的水分，因此使用時須先烘乾。

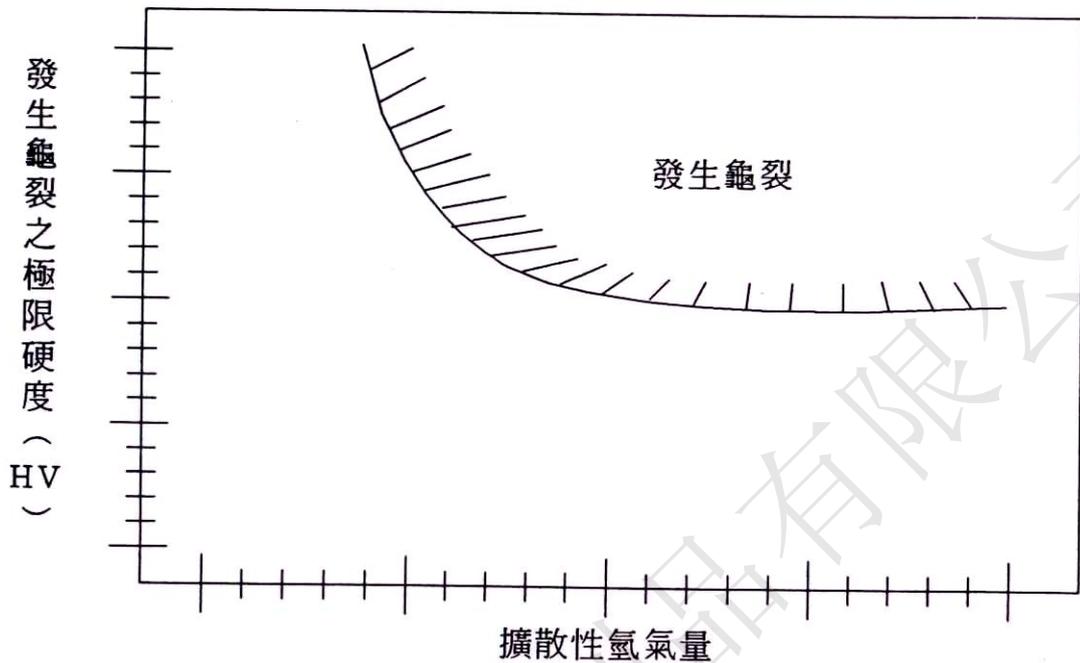


圖 12 硬度及擴散性氫量與發生低溫龜裂之關係

其次，若能把焊接金屬所吸收的氫氣儘速、儘量放出，對防止龜裂也有效。氫的移動，愈高溫愈活潑，因此把焊接部冷得愈慢，氫的放出量愈多。由此可知，從促進放出氫的立場來講，預熱也是有效的手段。

(3) 作用於熱影響區的應力

熱影響區發生淬火硬化時，組織變態為麻田散鐵而膨脹，因此與周圍鋼料之間會發生內部應力。又焊接金屬在凝固、冷卻過程中會收縮，而受母材的拘束發生大的內部應力。此等內部應力愈大愈容易龜裂，因此須設法緩和之。

減輕內部應力的主要步驟有下列三點：

(a) 預熱

把模具預熱時，可緩和焊接部至母材的溫度梯度而分散應力，同時也可由徐冷焊接部而釋放高溫層的應力和減輕麻田散鐵變態應力。

(b) 鎚打 (Peening)

焊接後，焊接金屬尚在高溫時以鐵鎚鎚打焊珠表面，藉以對焊接金屬施以塑性變形 (壓縮壓力)，以減少焊接金屬的收縮量來減輕內部應力。

(C)後熱

焊接完了後立即加熱至適當溫度，以減輕內部應力。爲了充分達到此目的，例如碳鋼就在 625~650°C 作後熱處理。但如使用預硬鋼 (Pre-hardened Steel) 製作塑膠模具，若在此高溫處理，因爲模具鋼材會軟化，所以爲了確保所定的硬度，可依後述表 18 所示的溫度作後熱處理。此程度的處理，對應力緩和的目的來講，雖然不充分，但有前述的氫去除處理之效果，對低溫龜裂之防止甚有效。

2.2.2 氣孔

氣孔的發生原因，主要爲熔融金屬吸收空氣中的氧、氮氣。氧的一部份會如式(3)所示，與熔融金屬中的碳反應生成一氧化碳，而此一氧化碳無法從熔融金屬中放出而產生氣孔。



熔融金屬中的碳濃度愈高式(3)之反應愈活潑，因此碳量愈多的鋼料，其焊接愈要注意。

另外，氧幾乎不固溶於焊接金屬中，所以殘留在焊接金屬中的氧幾乎全部成爲夾雜物分散在金屬中。

氮會大量被吸收於熔融金屬中，但在凝固金屬中只固溶少量氮。而此兩固溶量差之氮氣，會在熔融金屬凝固時被放出來，一部分殘留在金屬內形成氣孔。因此，爲了不讓焊接金屬吸收過量的氮 (大約 0.02% 以上)，須加以充分的隔離空氣。

在 TIG 焊接，若氬氣的隔離效果不完全而使空氣大量混入電弧氣中時，會形成氣孔。因此要選擇適切的護罩 (Nozzle) 口徑，並且護罩和母材間要保持短距離，以及要確保氬氣的流量。

被覆電弧焊接，起弧時由被覆劑的熱分解瓦斯所得的隔離效果往往不充分，而容易有發生氣孔之傾向。尤其採用低氬系被覆焊條時，此傾向顯著，所以應採用 3.3.2(3) 所述的輔導板法或跳回 (Back Step) 法。運棒時宜使用短電弧。

2.2.3 融合不良

對開槽面或下層的焊接金屬表面未供給充分的電弧熱時會發生融合不良。(1) 熔融金屬先流至電弧前方而使電弧不直接碰到開槽面時，(2) 電弧的指向位置不良而使熔融金屬覆蓋未熔融的開槽面時，(3) 多層焊接的下層之焊接表面呈凹凸狀而其凹入部分熔融不完全時，會發生缺陷。

TIG 焊接有時採用圖 15 所示的前進法做修補。此法雖然適用於薄板焊接，但因其熔深 (Penetration) 較淺，對修補焊接來講容易發生缺陷。爲了使開槽面能充分熔融，宜採用後退法。

在被覆電弧焊接時，爲了能使電弧的指向位置適，切須細心運棒。

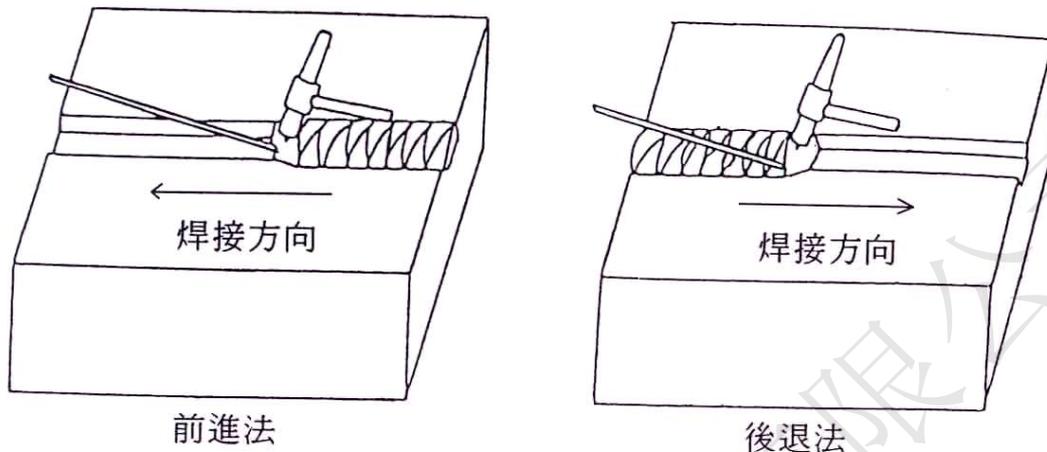


圖 13 前進法及後退法

3. 施工上的注意事項

3.1 開槽加工

(1) 模具有施以電鍍、滲碳等表面處理時，焊接前要除去表面處理層。

由於表面處理層的元素在溶入焊接金屬時，會使焊接金屬變硬、變脆，而發生焊接龜裂或氣孔等缺陷的危險，因此焊接前要先去表面處理層。

(2) 要確認在開槽面上沒有殘存龜裂等缺陷。

消除缺陷部後施以開槽加工時，若缺陷未被完全除而殘留下來，則在修補金屬中容易發生焊接缺陷。故在修補焊接前要用液滲檢驗 (Liquid penetrant inspection) 確認未有缺陷後，再施以開槽加工。

(3) 開槽的尺寸大小須能使焊接作業順利，並加工成光滑合適的形狀。

TIG 焊槍 (Torch) 的操作或運棒不容易時會發生焊接缺陷。開槽時須加工成容易作業的形狀。圖 16 表示開槽加工尺寸之例。

(4) 要完全除去開槽面及其周邊的銹、油脂、塵埃。

銹、油脂、塵埃等為焊接金屬內產生氣孔的原因。

3.2 預熱

(1) 模具材的預熱溫度

表 1 所示為預熱的推薦溫度。在表 1 所示的溫度是以 TIG 焊接為對象所設定者，此值則考慮 TIG 焊接的特長之一，即極低氬量而定。因此其值比依式(2)所計算的值為低。

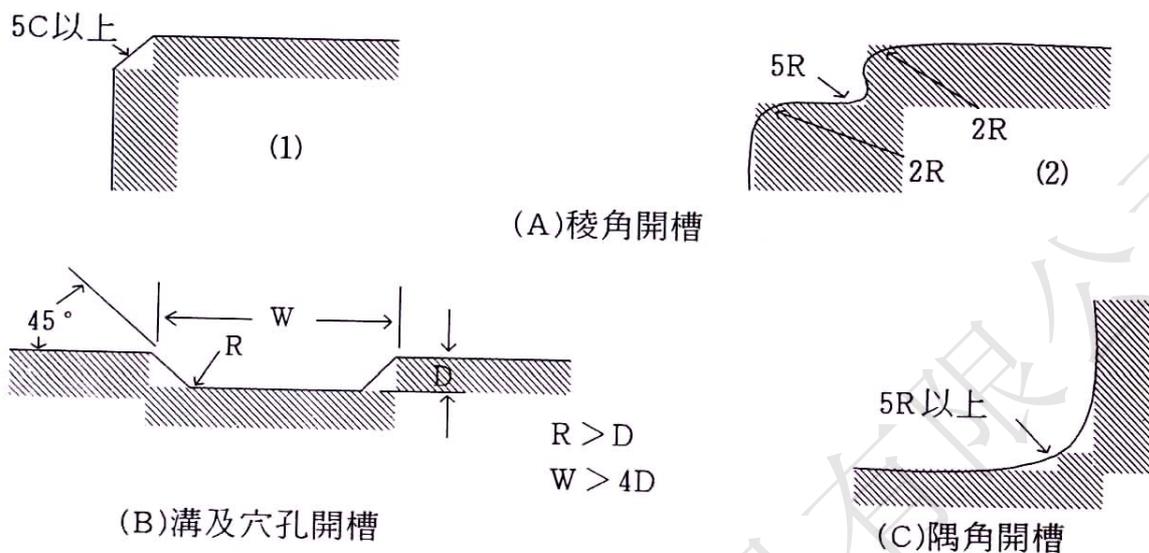


圖 14 開槽加工尺寸例

(2) 預熱時儘可能要均勻加熱

溫度分佈不均時，由於局部的熱膨脹會發生內部應力。形狀複雜的模具會發生應力集中，因此有時在隅角部發生龜裂。因此宜在爐中加熱或用炭火加熱。一般工廠常用瓦斯噴槍（gas burner）預熱，但此時容易加熱不均或燒傷模面，所以須特別注意。採用瓦斯噴槍時，宜使用火焰溫度較低的丙烷或液化瓦斯。圖 17 表示丙烷噴槍之例。加熱時，宜以數支火焰噴槍同時加熱較廣範圍。圖 18 表示加熱實例。



圖 15 用於模具預熱之丙烷噴槍之例

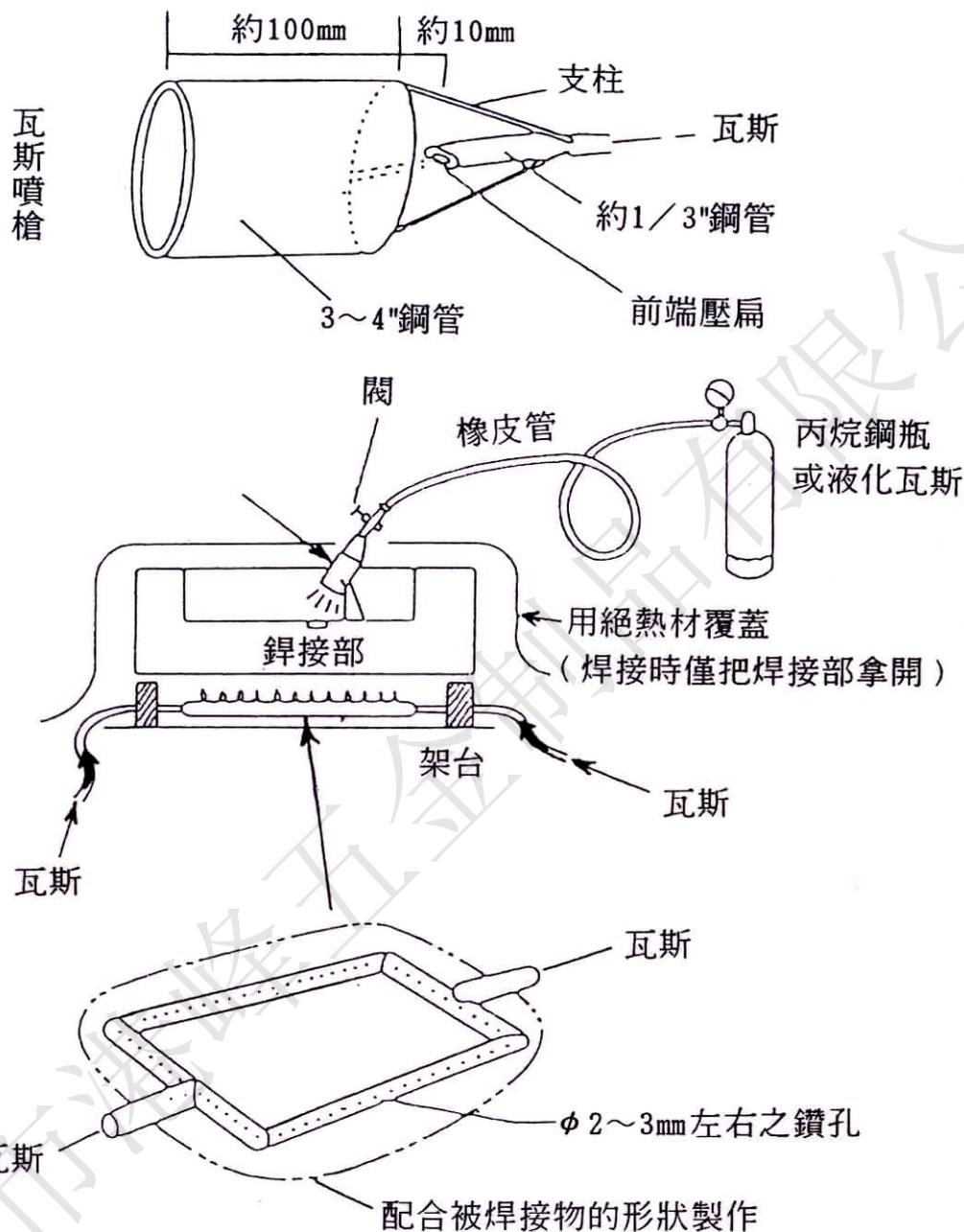


圖 16 模具預方法一例

(3)常溫至 100℃的範圍要慢慢加熱

若把低溫的模具急速加熱時容易龜裂。使用瓦斯噴槍加熱時，為了使火焰不直接和模具接觸，宜保持噴槍離模具 30~50cm。許多模具內有溫度調節用的水孔，利用此水孔，可以把加溫的油在模具內循環，而從內部使模具昇溫。

(4)焊接中也要保持預熱溫度

焊接時也需要時常注意將模具保持於預熱溫度。保溫時大多使用絕熱材，以往常使用石棉，為免傷害操作人員。宜改用二氧化矽（Silica）、氧化鋁（Alumina）系陶瓷氈。表 14 表示其性能及標準尺寸之例。

表 13 陶瓷氈之例

<性能>

項目 \ 種類	# 80	# 100	# 130
密度 (kg/m ²)	80	100	130
色調	純白		
粒子含有率 (32 篩目殘留)	0.5%		
使用溫度	1300°C以下		

<標準尺寸>

厚度 (mm)	寬×長 (mm)
6, 12.5, 25, 50	600×1,200
	600×2,400
	600×6,000

3.3 焊接

3.3.1 TIG 焊接

(1) TIG 焊條的選定

表 15 表示塑膠模具修補用 TIG 焊條及其用途。

(2) 焊接機宜使用附高週波起弧裝置的直流焊接機。模具接正極，焊槍接負極。

(3) 使用口徑略大的護罩

表 14 模具修補用 TIG 焊接棒

焊 接 棒	適用 模 具 用 鋼
JIS Z3212 D5316	PDS2，下層填補用
JIS Z3212 DF2A	PDS3，PDS5
JIS Z212 DF3B	PD613
NAK-W	NAK55，NAK80
MAS1C	MAS1C

因為模具的形狀均較複雜，空氣隔離較不容易完全，所以護罩口徑應選比標準尺寸略大者，且其氬氣流量也要增多比。

(4) TIG 焊接條件

表 16 表示標準焊接條件。

表 15 TIG 焊接條件

焊條直徑 (mm)	電極直徑 (mm)	焊接電流 (A)	電弧長度 (mm)
1.6	1.6	70~150	2.5~3.5
2.4	2.4	150~250	3.5~5.0

(5) 運棒採用後退法。

爲了改善熔深，防止焊接缺陷，宜採用後退法修補模具。

(6) 電弧長爲焊條直徑的 1.5~2 倍左右。

圖 30 表示焊槍和焊條的操作要領。必須避免鎢極（2%鈦之鎢棒）和焊條或母材相接觸。否則鎢極會折斷，掉入焊接金屬內而形成缺陷。

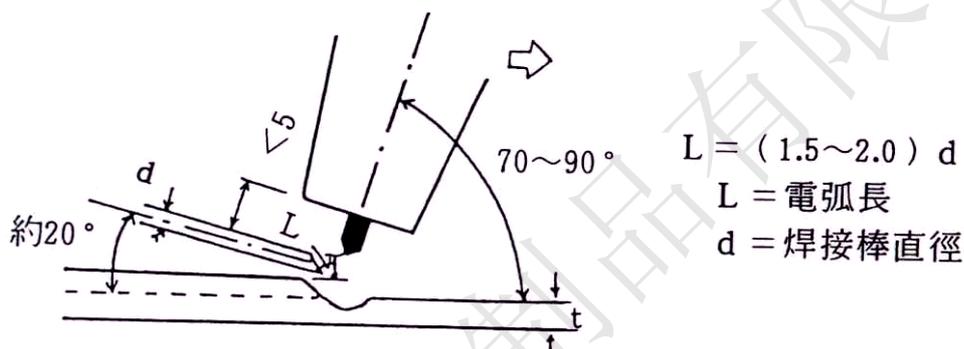


圖 17 TIG 焊槍及焊條之操作要領（後退法）

鎢極的突出長度，以離瓦斯護罩前端 5mm 以內爲準，且護罩和母材的間隔不要太大。

(7) 焊接採用串珠焊接（String beading），聯珠（Bead）長度爲 50mm 左右，各聯珠焊接完後緊跟著從焊疤部（熔坑 Crater）至開頭部實施鏈打。

各聯珠焊接完後，緊跟著用前端爲 3R 以上的鐵鎚，連續鏈打焊珠。此作業是修補焊接的重要步驟，不可忽視。

(8) 焊接部較長時或焊面較寬時，宜採用後退法、對稱法、跳步法等焊接法，依圖 31 所示順序修補，以便減輕內部應力。有的報告認爲跳步法最好。

(9) 使用表面乾淨的 TIG 焊條

由於附著之銹、油脂、塵埃會產生焊接缺陷，所以對焊條的處理與保管要很仔細。

3.3.2 被覆電弧焊接

(1) 被覆電弧焊條的選定

表 17 表示被覆電弧焊條及其適用模具鋼種。修補金屬的硬度依母材的化學成份與修補層之組合不同而變化。目錄所記載的硬度，通常是以 4 層修補的金屬硬度來表示。修補層數少時，由於母材化學成份的影響大，所以宜先用試驗片來做預備試驗，或與焊條製造廠商洽商。

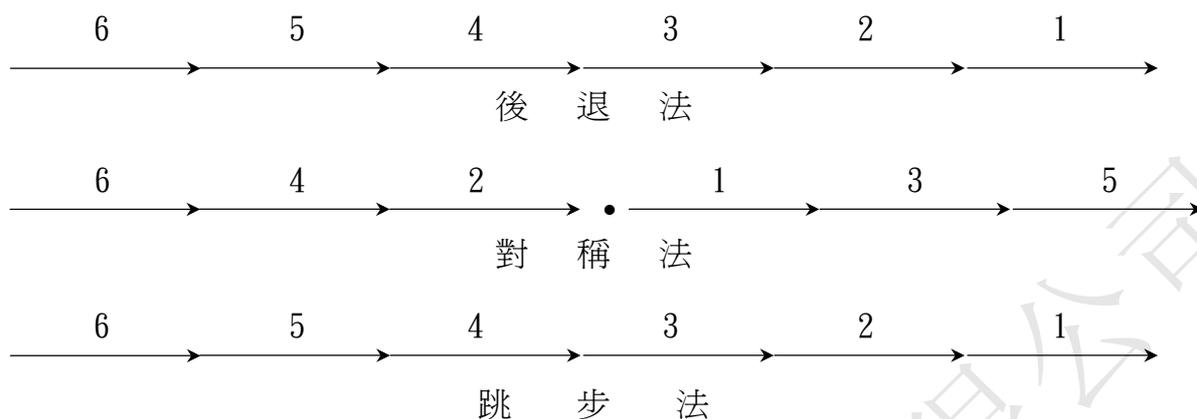


圖 18 減輕內部應力為目的之熔接方法

表 16 模具補修用被覆電弧焊條

焊 接 棒	適 用 模 具 用 鋼
JIS Z3212 D5316	PDS2，下層填補用
JIS Z3212 DF2A	PDS3，PDS5
JIS Z212 DF3B	PD613
JIS Z3212 DF4B	PAK90

(2)使用乾燥的焊接棒

保管中的被覆劑會吸水分，所以使用前須依照製造廠商所指定的烘乾。烘乾的標準溫度如下。

低 氫 系	250~350℃
鹽基鈦礦 (Lime Titanix) 系	200~250℃

不烘乾就使用時，有時會生焊接龜裂或產生氣孔。另外，反覆烘乾會使被覆材品質劣化，所以不得超過 4 次。

(3)起弧採用輔導板法或跳回法。

起弧部容易發生焊接缺陷，所以先在輔導板上產生電弧，而焊條的前端向呈赤紅時，移到修補部起弧。或先在焊接開端部的後方 20mm 左右之部位產生電弧，然後跳回開端部實施預定的焊接。

3.4 後熱處理

(1)焊接完了後立即實施後熱處理。

焊接後放置時有時會發生龜裂。龜裂發生之前須做後熱處理。

(2)後熱溫度

表 18 表示後熱的推薦溫度。在後熱溫度，最少要保持 1 小時。修補厚度 15mm 以上時，須考慮內部昇溫之遲延，而把保溫時間延長。修補厚度每 1 吋以 2 小時為準。

(3)處理後要徐冷。

表 17 推荐後熱溫度

模 具 用 鋼	後 熱 溫 度 (°C)
PDS2	350~450
PDS3, PDS5	400~500
NAK55, NAK80	450~550

4. 焊接部品質

4.1 硬度

修補焊接部分的硬度表示在圖 10、圖 12。由各圖可知，焊接金屬與母材之間的硬度差甚小，此表示 TIG 焊接棒的選定妥當。

如圖 11、圖 12 所示，會發生淬火硬化的材料，則無法避免熱影響部的硬化。尤其，採用後熱溫度 500°C 以下的處理，無法期待能軟化熱影響部。此部分的硬度會成問題時，則如圖 21 所示，提高預熱溫度來減少熱影響部的硬化。

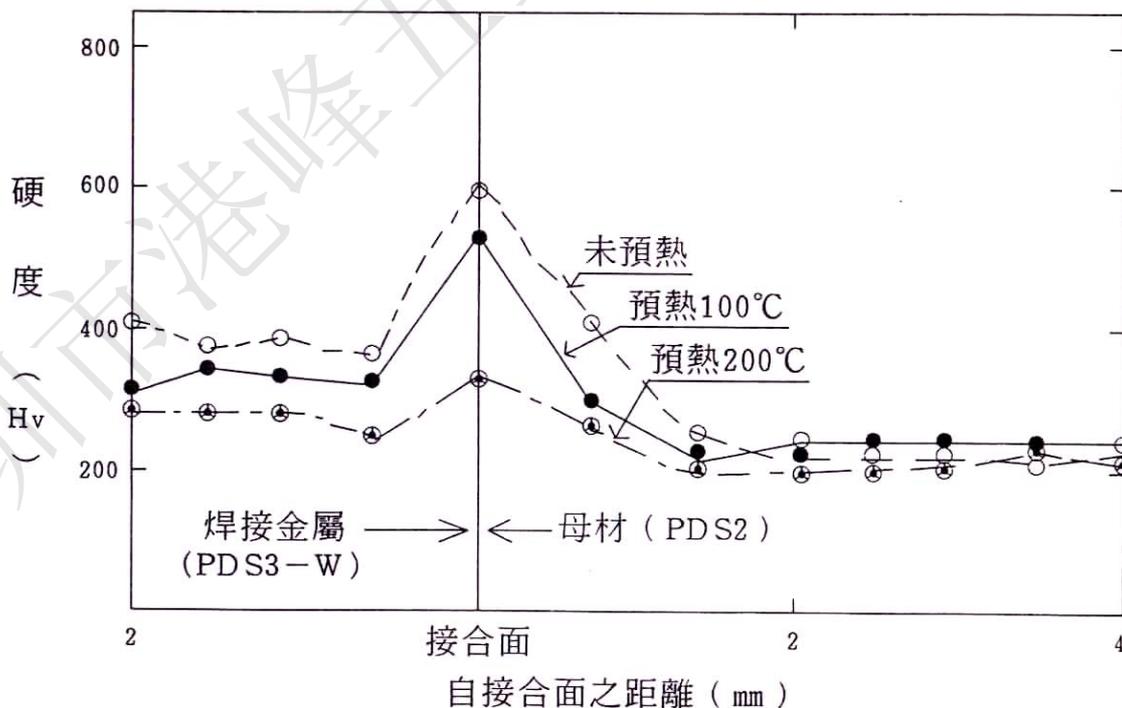
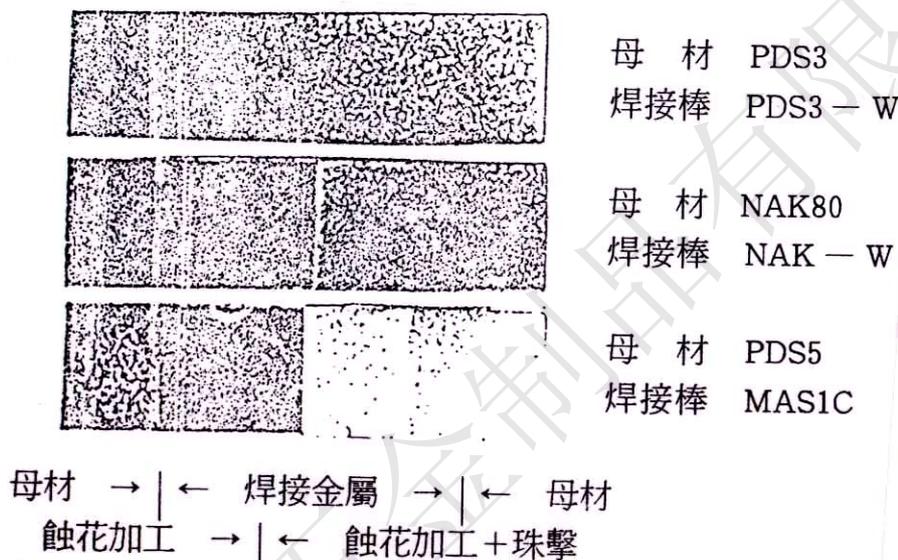


圖 19 預熱溫度與熱影響部硬度之關係

如圖 10 所示，NAK80 經後熱處理後，幾乎可消除硬度差。

4.2 蝕花加工

照片 5 表示蝕花加工樣品的外觀。PDS，NAK80 是使用推薦焊條修補之例。PDS5 是使用推薦焊條以外的焊條修補之例。照片 5 的左邊是蝕花處理狀態，熱影響部的蝕花顏色較濃。右邊是蝕花加工後輕度施以珠擊之結果，此部分的蝕花花紋表示在照片 6。使用推薦焊條修補的 PDS3，NAK80 未有蝕花不均現象，且熱影響部也判別不出來。選錯焊條時會發生如 PDS5 表示的不均現象。



照片 5 修補焊接部蝕花加工後之外觀

4.3 焊接缺陷

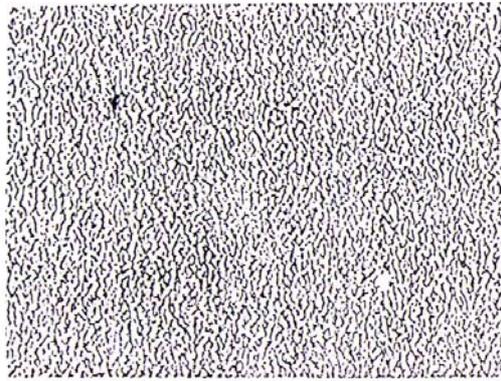
就採用前述的施工標準所施工的實例來講，都未發生缺陷而得到滿意的結果。

5. 補修焊接的實例

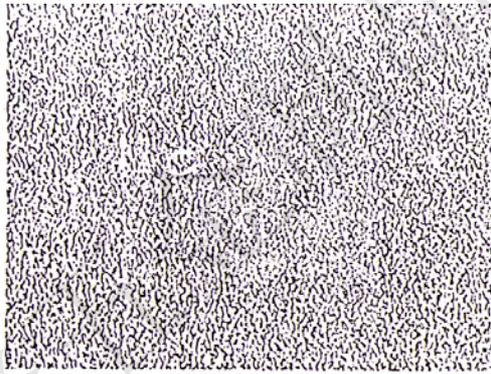
某公司把一組大型塑膠模具（材質 PDS2）實施修補焊接，而欲試模時發生龜裂。為研討對策，提出施工標準案修補另一組模具。下面說明此例。

5.1 事故內容

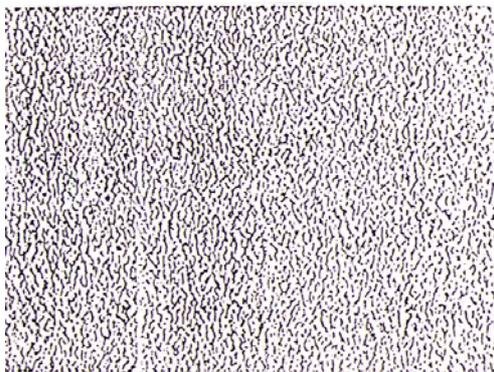
因為圖 22 所示的模具修補焊接部發現缺陷，所以將其一部分再加以修補。此後在修補部的附近發生龜裂。把模具各部分的硬度測定後，得知再修補部的熱影響部附近，局部有 HS51 的高硬度部分。龜裂部分靠近焊接金屬，所以可判斷此部分的硬度更高。由此結果可推測龜裂的原因是再修補時之預熱不充分。首先欲將此龜裂部分挖除，而再度實施修補，但在挖槽前的預熱中，龜裂突然增長，致使模具不能再用。此龜裂的原因可能是加熱速率太快，使模具內產生溫差之故。如有龜裂等尖兌缺口時，須先以機械加工等法，完全去除龜裂尖端。



母 材 (PDS3) → | ← 銲接金屬 (PDS3-E)

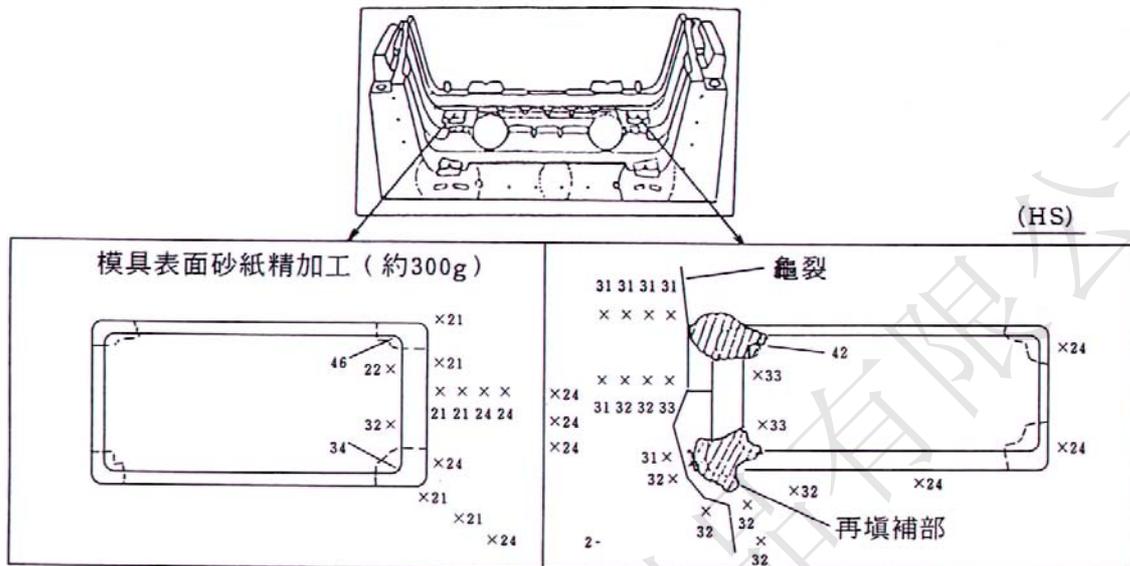


母 材 (NAK80) → | ← 銲接金屬 (NAK-W)



母 材 (PDS5) → | ← 銲接金屬 (PMA51C)

照片 6 蝕花加工面外觀



(註) 各稜角部有施焊接補修

圖 20 發生龜裂之模具例 PDS2

5.2 本公司所提的修補焊接施工標準

(1) 預熱

(a) 預備加熱

利用模具的水孔，使用模具溫度自動調整機，將高溫油加以循環，而慢慢加熱至 100~150°C。

(b) 加熱

使用丙烷噴槍，由離模具 50cm 左右的距離，把火焰噴向模具，而從修補焊接部周邊的範圍廣泛地加熱至 300°C。

(c) 保溫

不妨礙焊接作業的範圍內，用 25cm 厚陶瓷氈 2 張把模具圍起來，並且冷卻至 250°C 以上。

(2) 焊接

(a) 焊接法 TIG 焊接，正極性，後退法

(b) 焊接條件 150~200Amp.，隔離氣體 Ar 15l/min

(C)重 極 含 2%鈦鎢棒，直徑 2.4mm

(D)焊接棒 PDS1-W 2.4m

(3)後熱

450°C 保持 1 小時後徐冷。

5.3 修補品的性能

未產生焊接缺陷，其使用壽限可充分滿足要求。

塑膠模具之 TIG 焊接作業要領

No. 次 序	管 理 要 點	注 意 事 項
1. 模具解體	—	—
2. 模具洗淨	—	—
3. 模具整理	<ul style="list-style-type: none">• 研磨、表面銹之去除• 完全法除熔損、龜裂、氮化層	<ul style="list-style-type: none">• 異物混入及修補模具性能劣化原因
4. 開槽加工	<ul style="list-style-type: none">• 依照圖 27，儘量減少開槽加工，避免銳角形狀	<ul style="list-style-type: none">• 改善焊接作業性及防止龜裂
5. 洗淨	<ul style="list-style-type: none">• 去除油脂灰塵	<ul style="list-style-type: none">• 氣孔發生及異物混入之原因
6. 預熱	<ul style="list-style-type: none">• 依照表 13，緩慢加熱及均勻加熱	<ul style="list-style-type: none">• 防止龜裂之重要因素
7. 銲接	<ul style="list-style-type: none">• 依照表 15，表 16，圖 30	<ul style="list-style-type: none">• 防止變形，熔合不良，氣孔
8. 後熱	<ul style="list-style-type: none">• 依照表 18，焊接後立即實施，處理後徐冷	<ul style="list-style-type: none">• 防止龜裂之重要因素• 改善變形及拋光鏡面性
9. 焊接部觀察	<ul style="list-style-type: none">• 外觀檢查 (尤其焊接接合部之檢查)	<ul style="list-style-type: none">• 確認焊接部狀況
10. 模具加工	<ul style="list-style-type: none">• 避免重切削及研磨過熱	<ul style="list-style-type: none">• 防止龜裂及變形
11. 模具觀察	<ul style="list-style-type: none">• 焊接部及其近旁之檢查	<ul style="list-style-type: none">• 瑕疵、龜裂、異物等表面缺陷之確認

6. 結 言

根據技術資料，就塑膠模具修補焊接說明施工標準。雖然尚有許多應檢討之處，但依照前述的施工標準已可獲甚佳之修補實績。以上資料若能供參考，則幸甚。