

# 金屬模具之熱處理 及表面硬化技術

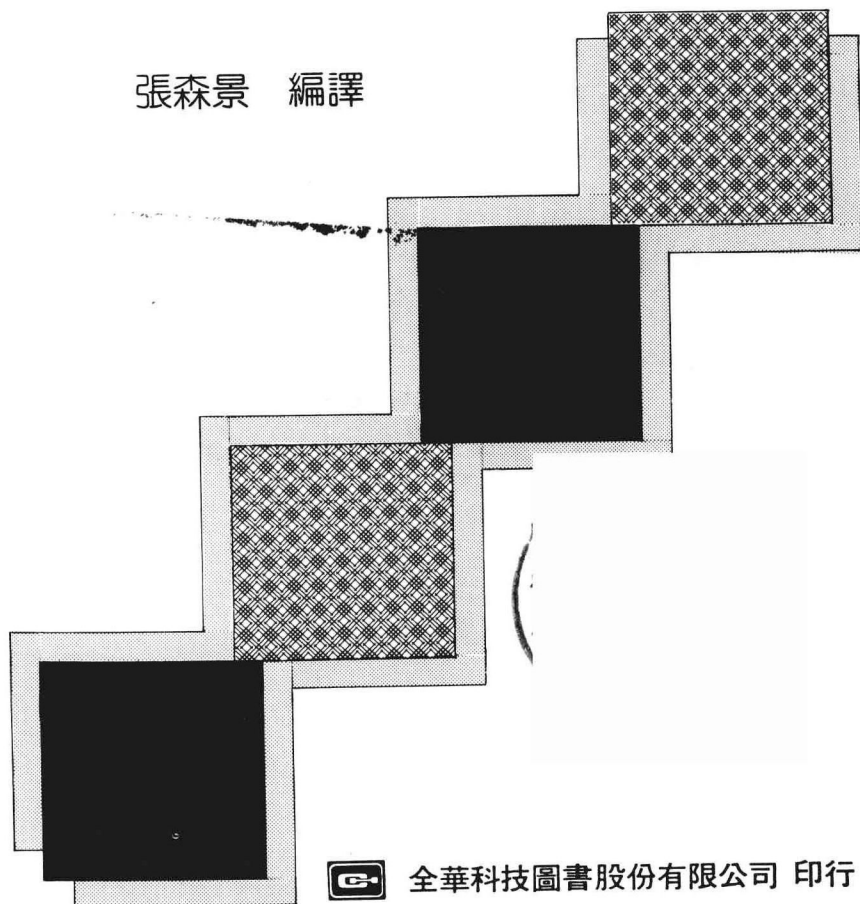
張森景 編譯



全華科技圖書股份有限公司 印行

# 金屬模具之熱處理 及表面硬化技術

張森景 編譯



全華科技圖書股份有限公司 印行

國立中央圖書館出版品預行編目資料

金屬模具之熱處理及表面硬化技術 / 張森景編

譯 . . . 初版 . . . 臺北市 : 全華 , 民 80

面 ; 公分

參考書目 : 面

ISBN 957-21-0104-8 (平裝)

1. 模具與夾具 2. 熱處理 3. 表面處理

472.2

80000607

法律顧問：陳培豪律師

## 金屬模具之熱處理及表面硬化技術

張森景 編譯

定價新台幣 140 元

初版 / 80年 4 月

圖書編號 0212016

版權所有 · 翻印必究

出版者 / 全華科技圖書股份有限公司

地址：台北市龍江路76巷20-2號2樓

電話：5071300(總機) FAX:5062993

郵撥帳號：0100836-1號

發行人 / 陳 本 源

印刷者 / 宏懋打字印刷股份有限公司

行政院新聞局核准登記證局版台業字第〇二二三號

# 原 序



筆者在最近的技術討論會中，有很多人提出關於模具壽命的問題及要求。例如：目前是以鑄造來成形，但是爲了節約能源及提高精度，現在想改以沖壓成形，在這個情形之下，應當使用什麼樣的模具比較好？原來所使用的元件是以沖壓加工成形的黃銅或軟鋼製品，現在客戶要求變更材質爲不銹鋼或鈦合金，因而原先所使用的模具很容易磨耗，必須經常的更換之，有沒有比較耐久用的模具？如以上所述諸如從別種加工法改用模具加工、從易加工材質改成不易加工材質時，模具壽命問題等。

在製作模具時，「在符合精密度下能做高效率的加工」爲第一優先考慮，以其爲目標來製作高精密度的模具。而經機械加工後的模具除了少部份外多需經熱處理，亦有些依情況需要需施以表面硬化，這些處理可以說對模具壽命有決定性的影響。

儘管現況如此，針對模具熱處理及表面硬化的入門書籍似乎很少。在筆者參與有關鋼鐵熱處理與表面硬化的實驗、研究及技術討論會時，常常有人問到：「模具的壽命無法再延長了嗎？就是稍延長一點也好」「以模具爲對象，有沒有比較容易懂的書」，因此把目前已有的實驗數據整理成本書，希望對模具的使用者及模具的製作者有所助益。

第1章的內容爲模具製作的第一階段——材料選用方法及爲了使第2章以後所使用的數據易於理解，介紹一些基礎知識。

2～4章中是以淬火回火爲主，基礎部份因參考書很多，只做簡單說明，且儘量以數據來說明，至於模具淬火的領域中特別重要的光輝熱處理，對於常用的惰性氣體及真空熱處理，則分別在第3章及第4章中說明。

5～8章爲表面硬化法，第5章爲全面的概略介紹，再從中擷取模具中最常用的表面硬化法，從第6章起，以數據爲主，簡單明瞭的介紹處理條件與硬化層各種特性。此外離子被覆法爲最新的表面技術，在廣大的使用領域中頗受注目，因此也勻出部份篇幅來介紹其種類、原理等基礎部份。而硬質皮膜能適用在多種產品上，針對現在最受注目的碳化鈦與氮化鈦做一番說明。

第9章爲最後的整理，說明組織實驗及碳化物抽出法。在本章中以決定模具性質的碳化物含量判別法爲中心來說明，其他書籍中很少介紹的部份以圖表來解說。

今後，對模具的要求將更嚴格，而且爲了要使壽命更長，對熱處理及表面硬化法的期待勢必愈來愈高。

最後對協助本書出版的海文堂出版社諸君，在此表示感謝之意。

仁平宣弘

# 譯者序



近幾年來，由於土地飆漲、工資上升，使產業界的「低成本時代」已成爲過去式。新台幣的升值及東南亞國家的崛起，更使我國的出口競爭力雪上加霜，出口成長率大幅衰退。針對這波無法抵擋的經濟潮流，惟有從「產品開發」及「降低成本」方面著手，使產業升級才有望締結另一次經濟奇蹟。以自行車產業爲例，我國曾經在出口量方面睥睨全球，但目前亦遇到瓶頸。以日本來做比較，日本在工資、物價方數均數倍於台灣，但自行車業仍然相當發達。因日本模具工業相當發達，自行車業者所使用的模具壽命長，換模時間少，單位時間內產業量大，單位成本相當的低。而且因模具精度高，零件品質可靠，附加價質高，贏得客戶的信任。故國內許多零件產品無法與日本貨競爭，甚至客戶下訂單時，指定某部份零件須用日本貨，造成受制於日商的困境。以此爲例，可見模具工業的發達與否，攸關整個工業的競爭力，而模具良劣的關鍵即在於本書內容所述的——材料選用及其熱處理。

影響模具壽命及精度的因素相當多，欲做一有系統的介紹並非易事，本書以模具用鋼的種類及特性爲開場白，再做一段熱身運動——先介紹一般熱處理的概念，將以往所學再重新整理複習後，堂堂入室——模具之熱處理方面。除了介紹現已商業化的技術外，亦涉獵最新技術發展的新動向。本書不作冗長的文字敘述，而是將各種研究的結

果，以數據或圖表簡單扼要的說明。內容由淺入深，層次分明，不論讀者為模具的使用者、設計者甚至研發人員均能各取所需，有所助益。

本書在翻譯之時，雖已竭力考證，以力求詳實，但謬誤之處，仍在所難免，望各位同業先知不吝指教。

張森景謹識于高雄

# 編輯部序



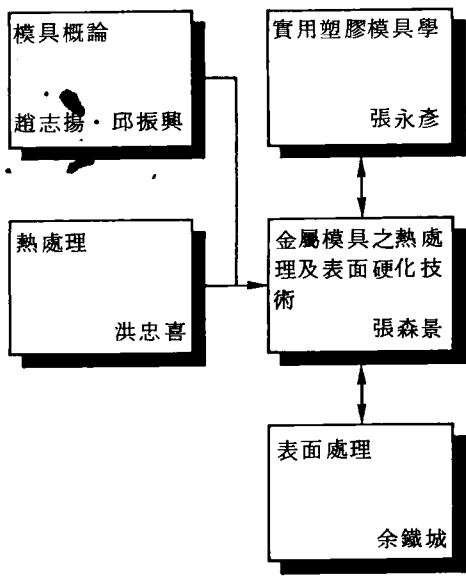
「系統編輯」是我們的編輯方針，我們所提供給您的，絕不只是一本書，而是關於這門學問的所有知識，它們由淺入深，循序漸進。

「在符合精密度下能做高效率的加工」是製作模具的第一要件，模具的精度和壽命足以影響整個模具工業，而模具工業的興衰攸關整個工業界的競爭力；什麼是模具的優劣決定關鍵呢？——材料選用及熱處理兩大要素。本書即詳盡、有系統的敘述熱處理及表面硬化的種種方式，前兩章在說明熱處理概念，三～九章則說明各種應用方法，極適合對模具製造有興趣者參考。

同時，為了使您能有系統且循序漸進研習相關方面的叢書，我們以流程圖方式，列出各有關圖書的閱讀順序，以減少您研習此門學問的摸索時間，並能對這門學問有完整的知識。若您在這方面有任何問題，歡迎來函連繫，我們將竭誠為您服務。



# 流 程 圖



# 目 錄

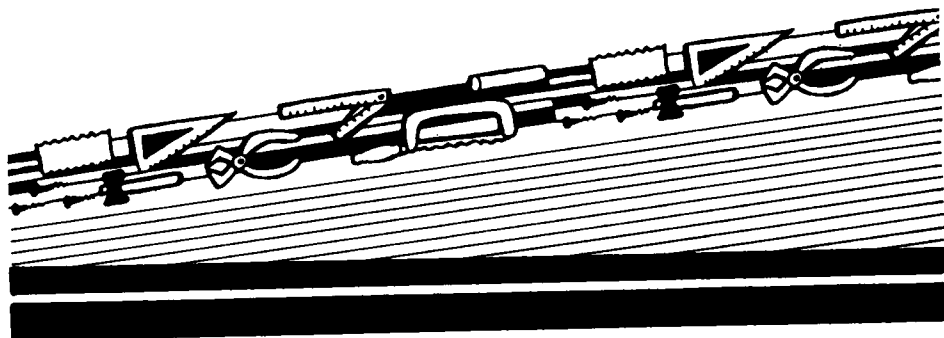
<b>第 1 章 模具用鋼的特徵</b>	<b>1</b>
1 模具必須具備的性質	1
2 模具用鋼的分類	4
3 碳化物的功能	7
<b>第 2 章 退火與淬、回火的處理條件</b>	<b>11</b>
1 退火的種類	11
2 完全退火	12
3 球狀化退火	15
4 低溫退火	16
5 淬火的目的是方法	17
6 回火的目的是方法	19
7 加熱媒體及冷卻劑	20
8 硬度與機械性質	23
9 淬火、回火時的組織變化	32
10 碳化物	34
11 變形與尺寸變化	37
<b>第 3 章 惰性氣體光輝熱處理</b>	<b>43</b>
1 惰性氣體的種類及不純物	43
2 配管材料及爐壁材料	44

3	氮氣光輝熱處理	45
<b>第4章</b>	<b>真空熱處理</b>	<b>47</b>
1	真空及真空單位	47
2	真空熱處理爐	48
3	合金元素的蒸發	51
4	升溫、冷卻特性	53
5	光輝性與表面粗度	55
6	高速度工具鋼的真空氣體淬火	57
<b>第5章</b>	<b>表面硬化在模具上的應用</b>	<b>63</b>
1	表面淬火	63
2	擴散法表面硬化	65
3	乾式被覆表面硬化法	68
4	濕式被覆表面硬化法	72
<b>第6章</b>	<b>離子被覆法的應用</b>	<b>75</b>
1	種類及原理	75
2	特徵與問題點	78
3	TiC及TiN被覆在模具用鋼上的應用	81
<b>第7章</b>	<b>氮化法的應用</b>	<b>93</b>
1	種類及特徵	93
2	模具用鋼的氣體氮化	96
3	模具用鋼的離子氮化	103
4	擴散層內的氮化物	105
<b>第8章</b>	<b>碳化物被覆法的應用</b>	<b>111</b>
1	粉末法	111

2	鹽浴法	116
3	塗布劑法	117
<b>第9章 組織試驗及碳化物抽出法</b>		<b>121</b>
1	組織試驗法	121
2	碳化物抽出法	127
<b>引用文獻及參考文獻</b>		<b>131</b>



# 第1章 模具用鋼的特徵



在不同的使用條件下，模具所需具備的性質亦不同，所以如何選擇最適當的鋼種，是一個相當重要的問題。例如在操作中溫度會一直升高，若用高碳工具鋼來做模具，壽命會相當短，相對的成本會提高。

在本章中，介紹模具用鋼的種類及特徵，以為模具製作第一步——材料選用時的參考。

## 1 模具必須具備的性質

模具的種類依用途分有冷間沖壓用、冷間鍛造用、熱間鍛造用、壓鑄用及塑膠用等數種，每一種所要求的性質各不相同。

因模具本身需要耐磨性，所以必須選用可硬化至高硬度的鋼種，再施以淬火回火熱處理。模具壽命太短，大部份是耐磨性的問題。但是有時候雖然耐磨性沒有問題，而是在使用中破損或缺損而無法再使用。在這種狀況下熱處理時，就是多多少少犧牲一些耐磨性，也需換取一些耐衝擊性，

而當需具耐衝擊性，而且耐磨性又是絕頂重要時，則需再經表面硬化處理。除此以外，熱間鍛造用、塑膠成型用模具中，耐熱性也是一個重要條件。

### 硬 度

硬度是模具最基本的性質。爲了提高鋼的硬度必須行淬火處理，淬火後的硬度，碳含量愈高的鋼種硬度愈高，但是即使同一鋼種，硬度也會受到淬火時奧斯田鐵化溫度或加熱保持時間、回火等因素所影響。一般來說，在 JIS 所規定的奧斯田鐵化溫度範圍內淬火時，若還要再經回火熱處理，回火溫度較低者硬度較高。但是，高速度工具鋼却因回火時的二次硬化現象，相反的在  $540^{\circ} \sim 570^{\circ}\text{C}$  間回火可得最高硬度。

### 耐磨耗性

一般來說，硬度愈高耐磨耗性愈佳。但即使硬度相同時，不同鋼種其耐磨耗性亦不同。這是受到各鋼種中合金元素之種類及含量而產生重大影響之故。模具用鋼所添加的合金如鉻 (Cr)，鎢 (W)，鉬 (Mo)，釩 (V) 等與鋼鐵中的碳結合成很硬的碳化物，對提高耐磨性有很大的幫助。

### 耐衝擊性

雖然大部份的模具都要求耐磨性高，強調其高硬度，但是像如冷間鍛造用模具在使用中承受相當大的衝擊力，耐衝擊性就顯得相當重要。例如；以 SKH51 模具來打螺栓六角頭時，降低奧斯田鐵化溫度，提高回火溫度時硬度在 HRC 60 以下，比按 JIS 規定淬火回火的模具耐久性高數倍。此外，冷間成形用模具鋼 SKD11 普通都在  $150 \sim 200^{\circ}\text{C}$  回火，但在考慮衝擊性時，常常施以  $600^{\circ}\text{C}$  左右的高溫回火。

### 淬火的硬化深度

模具由於其使用條件不同，有的只需要表面硬化，有的是連心部都需硬化。前者是適用於承受激烈衝擊的模具，後者則對承受高負荷的模具較恰當。

硬化深度可從鋼鐵的淬火性及質量效果推算出來，而其受碳以外其他合金元素的影響，舉一例來說，如圖 1.1 所示爲各種模具鋼的淬火性曲線，可以看出，含 Cr, Mo 的 SKT5 及 SKD12 的淬火性相當優良，高碳工具鋼則不佳。即使是同一鋼種，淬火性也會因結晶粒度大小而有所不同。

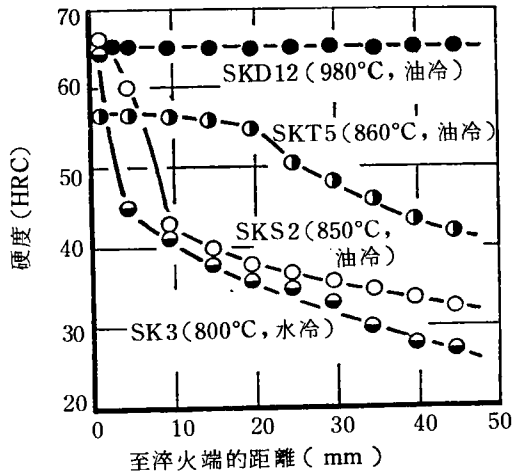


圖 1.1 模具用鋼的淬火性曲線

同，淬火時若提高奧斯田鐵化溫度，奧斯田鐵晶粒較大，淬火性也較佳。硬化深度則隨質量大小而異（質量效果），故在製作模具時需特別注意。

### 熱處理變形

大部份的模具不只是硬度要高，其尺寸精度也要好。因熱處理後相當不易做精密加工，尤其是要求正確的尺寸及形狀時，必須選擇熱處理變形小的鋼種，使所需的加工裕度減小，在這種情況，淬火時奧斯田鐵化溫度低且空冷亦能硬化的鋼種最為理想。水淬火鋼則不太適合。

但是，即使是同一鋼種，變形量也會因熱處理方法、熱處理條件及模具形狀之差異而有所影響，因為這些因素的考慮，像不需要太高硬度的塑膠成形用模具鋼，市面上已有預先淬火回火的成品販售，買回來後只需做最後的機械加工，就不必再擔心熱處理變形的問題了。

此外，淬火前的殘留應力也會造成熱處理變形，故在尺寸精度特別講究時，必須先做應力消除退火。

### 耐熱性

在使用中溫度會上升的模具，需重視耐熱性，溫度升高時硬度降低的程度，主要受鋼中合金元素的種類及含量所左右。因此就必須選用含有能有效防止回火軟化合金元素，如Mo、Cr、Co等的鋼種。

### 耐腐蝕性

冷間成形用模具對耐腐蝕性並不苛求，但對塑膠成形模具則相當重要，特別是用在成形會發出強烈腐蝕性的氯化乙烯之樹脂模具，必須使用 SUS420J2（13Cr 鋼）或 SUS440C（18Cr 鋼）等麻田散鐵系不銹鋼。市面上所賣的塑膠成形模具用鋼，也大多是這類的材質。近來含碳量更低的析出硬化型麻時效鋼亦大量用在要求耐腐蝕性的模具上。

## 2 模具用鋼的分類

### 1. 工具鋼

JIS 規格依成份不同把工具鋼分為高碳工具鋼、合金工具鋼及高速度工具鋼幾大類。此外如表 1.1 所示為從磨耗與韌性的觀點來分類的，在選用工具鋼時相當方便。這種分類法以含碳量為基準，從含碳量較多的鋼種開始，逐次按耐磨耗性、切削性、一般型、耐衝擊性的順序排列，每一列群則以淬火的難易度及使用中溫度上升時不容易軟化的程度來區分之。

表 1.1 由耐磨性及韌性的觀點來看，JIS 工具鋼的分類

用途	容許淬火變形者	可避免淬火變形者	可防止受熱軟化者
耐磨耗	SK1, SKS1, SKS11, SKS8	SKD1, SKD11, SKD2	SKH3, SKH4A, SKH4B, SKH5, SKH10
切削	SK2, SKS21, (SK2), (SKS7)	SKS2, SKS7, (SKS21)	SKH2, SKH51, SKH52, SKH53, SKH54, SKH55, SKH56, SKH57
一般型	SK3, SK4, SKS43, (SKS2), (SKS21)	SKS3, SKS31, SKS93, SKS94, SKS95, SKD12	SKD4, SKD5
耐衝擊	SK5, SK6, SK7, SKS44, SKT2, SKT3	SKS4, SKS41, SKS42, SKS5, SKS51, SKT4, (SKT5)	SKD6, SKD61, SKD62, SKT5, SKT6, (SKS41), (SKT4)

( ) 內的鋼種，本來是屬於其他群。本表是 JIS 解說內所介紹的，需隨 JIS 之改修定而修定。



## 高碳工具鋼

JIS 規格中，視含碳量的多寡把高碳工具鋼分類為 SK1 ( 1.30 ~ 1.50% C ) ~ SK7 ( 0.60 ~ 0.70% C ) 7 種。既然碳鋼的淬火硬度，含碳量在 0.6% 以上時可以說幾乎不變，為什麼還訂定含碳量 0.6% 以上鋼種的規格，那是因為；其基地雖然硬度相同，但是碳化物（高碳工具鋼中為雪明碳鐵）分散時，耐磨性較優良。

此外，即使是相同的雪明碳鐵 ( $Fe_3C$ )，形狀為微細球狀者較粗大網狀者不容易產生熱裂，在韌性的觀點上亦比較有利，所以在市面所賣的 SK 材一定是經過球狀化退火處理的。高碳工具鋼最理想的淬火組織是，微細球狀雪明碳鐵分佈在含碳量 0.6% 的麻田散鐵基地中。淬火後需再施以 150 ~ 200°C 回火，以減小淬火所產的殘留應力，並使殘留奧斯田鐵分解。但是高碳工具鋼的淬火性不佳，如果模具較大的話，則無法得到足夠的硬度。

## 合金工具鋼

合金工具鋼是為了改善高碳工具鋼的缺點，於是添加各種合金元素以提高淬火性。尤其是 Cr 不僅能提高淬火性，也能提高耐磨耗性及韌性，所以合金工具鋼一定會添加 Cr。

強調耐磨耗性冷間工具鋼，JIS 規格中有 SKD1，SKD11，SKD2，SKD12，4 種。每一種均為高含碳量，而且主要以分散的鉻碳化物來提高耐磨耗性。這個扮演主要角色的碳化物為  $(Cr, Fe)_7C_3$ ，比 SK 或 SKS 系列的碳化物更硬。

熱間模具鋼已規格化的鋼種含碳量低至 0.3 ~ 0.4%。這是為了防止因急熱急冷熱循環導致反復膨脹收縮時而產生之龜裂，且使淬火時不要殘留太多尚未溶解的碳化物，故減低含碳量。此外，含碳量 0.5 ~ 0.6% 用來做模具組的 SKT 2 ~ 6 雖已經規格化，但是並未規定回火條件。

## 高速度工具鋼

含有 Mo、W、V 等合金元素的鋼，在 500 ~ 600°C 回火時，會析出  $Mo_2C$ 、 $W_2C$ 、 $VC$  等碳化物，稱為二次硬化現象。其硬度大部份都比淬火硬度高。利用這種特性，規格化的高速度切削用鋼稱作高速度工具鋼