

工具與模具鋼材

〈富力康股份有限公司 譯註自美國 AWS 焊接手冊第八版〉

導論

用來製造工業成形及切割工具的鋼材都經過特殊設計，因此具有特定用途所需的獨特機械特性。為生產潔淨、均質的材料，需要根據它精確的化學成分及所需的微結構以生產這些鋼材。高成本製造的精密工具、模具及鑄模的花費以及因工具過早故障所造成的停工損失彰顯了嚴格控制品質的正當性與必要性。焊接前往往往先考慮如何維持這些鋼材的獨特性質。為維持焊覆層及熱影響區所要的特性及微結構，所以在焊接前應仔細地計劃過程並且應該採用適當的燒焊程序〈見圖 4.1〉。

由於工具鋼中含有碳及合金成分，同時為達到預期的機械特性又必須進行熱處理，因此必須由高度專業之技術人員使用公認的方法及控制過程來從事焊接施工。焊接過程會大幅度地影響工件的熱影響區。因此，在焊接時焊工必須具備良好的熱處理施工知識及巧妙的焊接技巧。

冶金學

通常工具鋼的碳含量從 0.30% 到 1.00% 多，並含有其他合金元素。它們具有高硬度以及抗磨損的特性。從圖 4.2 中可以看出高碳含量提供高達 60 HRC 麻田散體〈martensitic〉硬度。碳化物會增加鋼材的抗磨損性。某些等級的工具鋼設計成碳含量較低，但抗高溫的韌性〈toughness〉與抗軟化性〈稱之為紅熱硬度〉較佳。工具鋼也依循其他合金鋼材的通則就是合金含量愈，則可硬化性〈hardenability〉愈高。

除了碳之外，工具鋼材尚包含大量的其他元素，像是鉻、鈷、錳、鉬、鎳、矽、鎢及鈮。這些元素會形成各種合金碳化物以增加硬度、抗磨損性、耐高溫軟化性或這些特性的某些組合。沒有任何一種合金能夠提供上述所有的特性，因此，工具鋼要基於特定的需要來選擇所需的最佳組合。這些特性主要由合金成分及所使用的熱處理〈包括淬火媒介〉產生。表 4.1 顯示不同的合金元素對工具鋼材特性的影響。

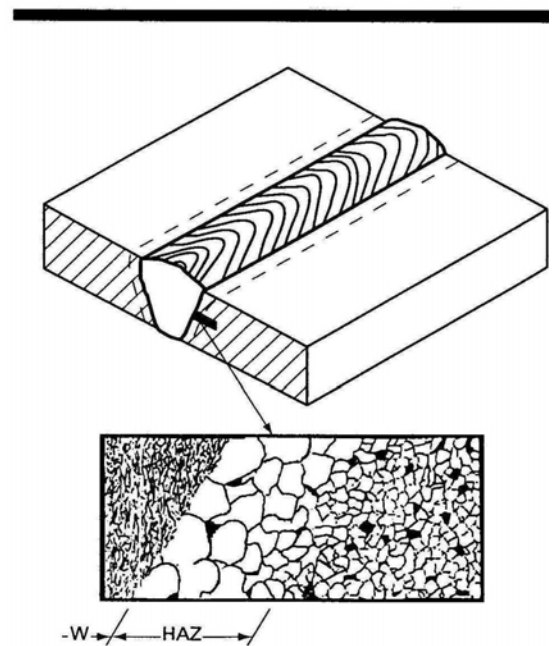


Figure 4.1—Single-Pass Weld in Steel, Showing Weld Metal (W) and Coarse-Grained Heat-Affected Zone (HAZ)

圖 4.1—鋼上的單一焊道，顯示焊道(W)和粗粒結構的熱影響區(HAZ)

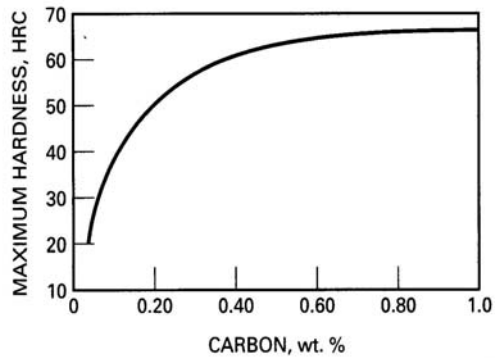


圖 4.2—碳含量影響碳鋼或合金鋼淬火硬化後的最大硬度

Figure 4.2—Influence of Carbon Content on the Maximum Hardness of As-Quenched Carbon and Alloy Steels

表 4.1 各種合金元素對工具鋼材性質的影響

合金元素	含量%	作用
碳	0.30-2.34	增加硬度及抗磨損性
鉻	0.2-14 12-14	增加硬化深度〈雖然影響之程度少於錳〉、增加抗磨損性及韌度〈toughness〉增加硬化所需之溫度 增加抗磨損性及尺寸的穩定性 增加〈稍微地〉已硬化鋼材之耐腐蝕性
鈷	5-12	增加紅熱硬度〈在高溫時之抗軟化性〉、增加脫碳傾向減少韌性
鎳	< 0.1	增加抗磨損性 最大的可容許硬化溫度會增加 減少脫碳傾向
錳	0.15-3	增加硬化深度 在最終熔融階段小量的增加鋼材的脫氧作用 減低硬化所需之溫度
鉬	0.15-10	增加硬化之深度〈較鎢更有效〉 增加紅熱硬度 增加抗磨損性 在鍛造及熱處理時引發脫碳反應 與矽一同使用時會增加強度

鎳	0.29-0.3	略為增加強度、抗磨損性和硬化之深度 增加高合金鋼退火之困難 少量地減少硬化所需之溫度
硫	0.015-0.05	除增加某些空氣硬化工具鋼材之可加工性〈自由加工〉，否則是有害之雜質
矽	0.15-2 >0.3	增加脫碳之可能性 與錳、鉬、鉻一起使用時將大幅增加強度與韌性 增加可硬化性
鎢	0.5-20 12-20	與碳一起使用時，會增加抗磨損性 與碳及鉻一起使用時，會增加紅熱硬度
鈮	0.15-5	與鉬、鉻及鎢一起使用時： 會增加韌性 增加紅熱硬度 增加抗磨損性〈中到高的鈮含量時〉 增加可容許硬化溫度的最大值 降低熱處理鋼材之晶粒增長
鋁、鈦、鋯	< 0.1	增加最終熔融狀態鋼材的脫氧度 減少晶粒增長

分類

美國鋼鐵學會〈AISI〉及美國汽車工程師協會〈SAE〉將工具鋼分為七大類。大致根據常見的用途、化學成分或熱處理媒介〈水、油或空氣〉歸類。表 4.2 顯示這些工具鋼群和包含這些大類別的合金類型。ASTM 也有數種工具鋼材的規格，包含 ASTM A600、A681 及 A686。這些 AISI、SAE 及 ASTM 等之標準可能會用作為採購的基礎、或用作改良焊接性需要的詳細規範或特定用途。表 4.3 提供常用之工具鋼與其成分和統一編號系統〈UNS〉表。

表 4.2 主要工具鋼材大類別

Group 〈類別〉	letter Symbol* 〈字母符號〉	Type 〈類型〉	Properties 〈特性〉	Uses 〈用途〉
水硬化	W	純碳	內部強硬，而表面堅硬具有抗磨損性	利刃、修整模具、冷沖頭模具、木鑿、手動穿孔機

抗衝擊	S	中度-碳、低-合金	優異的硬度及高強度	毛坯及修整模具、鑿、鉚釘組、成形輥、縱剪機及結構性之應用
冷作	O	油硬化	對於中等溫度具有抗磨損性	施用於溫度不高處之模具及打孔
	A	中度-合金、空氣硬化	淬火時形變及斷裂最少	模具、打孔機及成形輥
	D	高-碳、高-鉻	高硬度及優異的抗磨損性	剪刀、長程沖壓模具及磚材之應用
熱作	H	鉻〈H1-H19〉 鎢〈H20-H39〉 鉬〈H40-H59〉	良好的韌度和抗高溫軟化性	高應力元件及高溫擠出模具〈工作時能水冷不斷裂〉
高速	T	鎢	高硬化能力及硬度	切割工具及高溫結構元件、鑽頭、鉸刀、鑿子、銑刀、打孔機
	M	鉬	高硬化能力及硬度	穿孔機、切割工具、麻花鑽頭、刨具及插入式刀片
鑄造	P	低碳	低硬度及工作硬化能力低	低溫模具鑄造及塑膠鑄模用之模具及鑄模
特殊用途	L	低合金	高韌度及良好的拉力強度	心軸、凸輪、夾頭、指軸、漂移引腳、冷成形輥及縱剪機

*美國鋼鐵學會〈AISI〉及美國汽車工程師協會〈SAE〉規格的第一個字母。例如，這些是用於三種水硬化工具鋼的規格，比如說 AISI W-1、W-2 及 W-5。美國試驗與材料協會也制定了工具鋼材的規格〈亦見於 ASTM A600，高速工具鋼材之標準規格；ASTM A681，合金工具鋼材之標準規格；及 ASTM A686，碳工具鋼材之標準規格。〉

表 4.3 常見工具鋼材之組成

Type 類型	UNS 標號	C 碳	Mn 錳	Si 矽	Cr 鉻	Ni 鎳	V 釩	W 鎢	MO 鉬	Co 鈷
Water-Hardening 〈水硬化〉										
	T72301	0.70-1.05	0.10-0.40	0.10-0.40	0.15 max	0.20 max	0.10 max	0.15max	0.10 max	-
W2	T72302	0.85-1.50	0.10-0.40	0.10-0.40	0.15 max	0.20 max	0.15- 0.35	0.15 max	0.10 max	-
W5	T72305	1.05-1.15	0.10-0.40	0.10-0.40	0.40-0.60	0.20 max	0.10 max	0.15 max	0.10 max	-
Shock-Resisting 〈抗衝擊〉										

Type 類型	UNS 標 號	C 碳	Mn 錳	Si 矽	Cr 鉻	Ni 鎳	V 釩	W 鎢	MO 鉬	Co 鈷
S1	T41901	0.40-0.55	0.10-0.40	0.15- 1.20	1.00-1.80	0.30 max	0.15-3.00	1.50-3.00	0.50 max	_
S2	T41902	0.40-0.55	0.30-0.50	0.90-1.20	_	0.30 max.	0.50 max	_	0.30-0.60	_
S5	T41905	0.50-0.65	0.60. 1.00	1.75-2.25	0.35 max	_	0.35 max.	_	0.20-1.35	_
S6	T41906	0.40-0.50	1.20-1.50	2.00-2.50	1.20-1.50	_	0.20- 0.40	_	0.30-0.50	_
S7	T41907	0.45- 0.55	0.20.0.80	0.20-1.00	3.00-3.50	_	0.20-0.30C	_	1.30-1.80	_
Cold-Work:Oil-Hardening 〈冷作：油硬化〉										
O1	T31501	0.85- 1.00	1.00-1.40	0.50max	0.40-0.60	0.30max	0.30max	0.40-0.60	_	_
O2	T31502	0.85-0.95	1.40-1.80	0.50max.	0.35max	0.30max	0.30max	_	0.30max	_
O6 ^b	T31506	1.25-1.55	0.30-1.10	0.55-1.50	0.30max	0.30max	_	_	0.20-0.30	_
O7	T31507	1.10-1.30	1.00 max	0.60max.	0.35-0.85	0.30max	1.00-2.00	1.00-2.00	0.30max	_
Cold-work:Medium-Alloy,Air-Hardening 〈冷作：中等-合金、空氣硬化〉										
A2	T30102	0.95-1.05	1.00max	0.50max	4.75-5.50	0.30 max	0.15-0.50	_	0.90-1.40	_
A3	T30103	1.20-1.30	0.40-0.60	0.50 max	4.75-5.50	0.30 max	0.80-1.40	_	0.90-1.40	_
A4	T30104	0.95-1.05	1.80-2.20	0.50 max	0.90-2.20	0.30 max	_	_	0.90-1.40	_
A6	T30106	0.65-0.75	1.80-2.50	0.50 max	0.90-1.20	0.30 max	_	_	0.90-1.40	_
A7	T30107	2.00-2.85	0.80 max	0.50 max	5.00-5.75	0.30 max	3.90-5.15	0.50-1.50	0.90-1.40	_
A8	T30108	0.50-0.60	0.50 max	0.75-1.10	4.75-5.50	0.30 max	_	1.00-1.50	1.15-1.65	_
A9	T30109	0.45-0.55	0.50 max	0.95-1.15	4.75-5.50	1.25-1.75	0.80-1.40	_	1.30-1.80	_
A10 ^b	T30110	1.25-1.50	1.60-2.10	1.00-1.50	_	1.55-2.05	_	_	1.25-1.75	_
Cold-work:High-Carbon,High-Chromium 〈冷作：高碳、高鉻〉										
D2	T30402	1.40-1.60	0.60 max	11.00-13.00	0.30 max	1.10 max	_	0.70-1.20	1.00max	_
D3	T30403	2.00-2.35	0.60 max	0.60 max	11.00-13.50	0.30 max	1.00 max	1.00 max	_	_
D4	T30404	2.05-2.40	0.60 max	0.60 max	11.00-13.00	0.30 max	1.00 max	_	0.70-1.20	_
D5	T30405	1.40-1.60	0.60 max	0.60 max	11.00-13.00	0.30 max	1.00 max	_	0.70-1.20	2.50-3.50
D7	T30407	2.15-2 50	0.60 max	0.60 max	11.50-13.50	0.30 max	3.80-4.40	_	0.70-1.20	_
Hot-work:chromium 〈熱作：鉻〉										
H10	T20810	0.35-0.45	0.25-0.70	0.80-1.20	3.00-3.75	0.30 max	0.25-0.75	_	2.00-3.00	_
H11	T20811	0.33-0.43	0.20-0.50	0.80-1.20	4.75-5.50	0.30 max	0.30-0.60	_	1.10-1.60	_
H12	T20812	0.30-0.40	0.20-0.50	0.80-1.20	4.75-5.50	0.30 max	0.50 max	1.00-1.70	1.25-1.75	_
H13	T20813	0.30-0.45	0.20-0.50	0.80-1.20	4.75-5.50	0.30 max	0.80-1.20	_	1.10-1.75	_
H14	T20814	0.35-0.45	0.20-0.50	0.80-1.20	4.75-5.50	0.30 max	_	4.00-5.25	_	_
H19	T20819	0.32-0.45	0.20-0.50	0.20-0.50	4.00-4.75	0.30max	1.75-2.20	3.75-4.50	0.30-0.55	_

Type 類型	UNS 標 號	C 碳	Mn 錳	Si 矽	Cr 鉻	Ni 鎳	V 釩	W 鎢	MO 鉬	Co 鈷
Hot-Work:Tungsten 〈熱作：鎢〉										
H21	T20821	0.26-0.36	0.15-0.40	0.15-0.50	3.00-3.75	0.30 max	0.30-0.60	8.50-10.00	-	-
H22	T20822	0.30-0.40	0.15-0.40	0.15-0.40	1.75-3.75	0.30 max	0.25-0.50	10.00-11.75	-	-
H23	T20823	0.25-0.35	0.15-0.40	0.15-0.60	11.00-12.75	0.30 max	0.75-1.25	11.00-12.75	-	-
H24	T20824	0.42-.0.53	0.15-0.40	0.15-0.60	2.50-3.50	0.30 max	0.40-0.60	14.00-16.00	-	-
H25	T20825	0.22-0.32	0.15-0.40	0.15-0.40	3.75-4.50	0.30 max	0.40-0.60	14.00-16.00	-	-
H26	T20526	0.45-0.55	0.15-0.40	0.15-0.40	3.75-4.50	0.30 max	0.75-1.25	17.25-19.00	-	-
Hot-Work:Molybdenum 〈熱作：鉬〉										
H42	T20842	0.55-0.70	0.15-0.40	-	3.75-4.50	0.30 max	1.75-2.20	5.50-6.75	4.50-5.50	-
High-Seepd:Tungsten 〈高速：鎢〉										
T1	T12001	0.65-0.80	0.10-0.40	0.20-0.40	3.75-4.00	0.30 max	0.90-1.30	17.25-18.75	-	-
T2	T12002	0.80-0.90	0.20-0.40	0.20-0.40	3.75-4.50	0.30 max	1.80-2.40	17.50-19.00	1.00 max	-
T4	T12004	0.70-0.80	0.10-0.40	0.20-0.40	3.75-4.50	0.30 max	0.80-1.20	17.50-19.00	0.40-1.00	4.75-5.75
T5	T12005	0.75-0.85	0.20-0.40	0.20-0.40	3.75-5.00	0.30 max	1.80-2.40	17.50-19.00	0.50-1.25	7.00-9.50
T6	T12006	0.75-0.85	0.20-0.40	0.20-0.40	4.00-4.75	0.30 max	1.50-2.10	18.50-21.00	0.40-1.00	11.00-13.00
T8	T12008	0.75-0.85	0.20-0.40	0.20-0.40	3.75-4.50	0.30 max	1.80-2.40	13.25-14.75	0.40-1.00	4.25-5.75
T15	T12015	1.50-1.60	0.15-0.40	0.15-0.40	3.75-5.00	0.30 max	4.50-5.25	11.75-13.00	1.00 max	4.75-5.25
High-Speed:Molybdenum 〈高速：鉬〉										
M1	T11301	0.78-0.88	0.15-0.40	0.20-0.50	3.50-4.00	0.30 max	1.00-1.35	1.40-2.10	8.20-9.20	-
M2	T11302	0.78-0.88 0.95-1.05	0.15-0.40	0.20-0.45	3.75-4.50	0.30 max	1.75-2.20	5.50-6.75	4.50-5.50	-
M3 Class1	T11313	1.00-1.10	0.15-0.40	0.20-0.45	3.75-4.50	0.30 max	2.25-2.75	5.00-6.75	4.75-6.50	-
M4	T11304	1.25-1.40	0.15-0.40	0.20-0.45	3.75-4.75	0.30 max	3.75-4.50	5.25-6.50	4.25-5.50	11.00-13.00
M6	T11306	0.75-0.85	0.15-0.40	0.20-0.45	3.75-4.50	0.30 max	1.30-1.70	3.75-4.75	4.50-5.50	-
M7	T11307	0.97-1.05	0.15-0.40	0.20-0.55	3.75-4.00	0.30 max	1.75-2.25	1.40-2.10	8.20-9.20	-
M10	T11310	0.84-0.94 0.95-1.05	0.10-0.40	0.20-0.45	3.75-4.50	0.30 max	1.80-2.20	-	7.75-8.50	-
M30	T11330	0.75-0.85	0.15-0.40	0.20-0.45	3.50-4.25	0.30 max	1.00-1.40	1.30-2.30	7.75-9.00	4.50-5.50
M33	T11333	0.85-0.92	0.15-0.40	0.15-0.50	3.50-4.00	0.30 max	1.00-1.35	1.30-2.10	9.00-10.00	7.75-8.75

Type 類型	UNS 標 號	C 碳	Mn 錳	Si 矽	Cr 鉻	Ni 鎳	V 釩	W 鎢	MO 鉬	Co 鈷
M34	T11334	0.85-0.92	0.15-0.40	0.20-0.45	3.50-4.00	0.30 max	1.90-2.30	1.40-2.10	7.75-9.20	7.75-8.75
M36	T11336	0.80-0.90	0.15-0.40	0.20-0.45	3.75-4.50	0.30 max	1.75-2.25	5.50-6.50	4.50-5.50	7.75-8.75
M41	T11341	1.05-1.15	0.20-0.60	0.15-0.50	3.75-4.50	0.30 max	1.75-2.25	6.25-7.00	3.25-4.25	4.75-5.75
M42	T11342	1.05-1.15	0.15-0.40	0.15-0.65	3.50-4.25	0.30 max	0.95-1.35	1.15-1.85	9.00-10.00	7.75-8.75
M43	T11343	1.15-1.25	0.20-0.40	0.15-0.65	3.50-4.25	0.30 max	1.50-1.75	2.25-3.00	7.50-8.50	7.75-8.75
M44	T11344	1.10-1.20	0.20-0.40	0.30-0.55	4.00-4.75	0.30 max	1.85-2.20	5.00-5.75	6.00-7.00	11.00-12.00
M46	T11346	1.22-1.30	0.20-0.40	0.40-0.65	3.70-4.20	0.30 max	3.00-3.30	1.90-2.20	8.00-8.50	7.80-8.80
M47	T11347	1.05-1.15	0.15-0.40	0.20-0.45	3.50-4.00	0.30 max	1.15-1.35	1.30-1.80	9.25-10.00	4.75-5.25
Mold 〈 模具 〉										
P2	T51602	0.10 max	0.10-0.40	0.10-0.40	0.75-1.25	0.10-0.50	—	—	0.15-0.40	—
P3	T51603	0.10max.	0.20-0.60	0.40max.	0.40-0.75	1.00-1.50	—	—	0.40-1.00	—
P4	T51604	0.12 max	0.20-0.60	0.10-0.40	4.00-5.25	—	—	—	0.40-1.00	—
P5	T51605	0.10 max	0.20-0.60	0.40 max	2.00-2.50	0.35 max	—	—	—	—
P6	T51606	0.05-0.15	0.35-0.70	0.10-0.40	1.25-1.75	3.25-3.75	—	—	—	—
P20	T51620	0.28-0.40	0.20-0.60	0.20-0.80	1.40-2.00	—	—	—	0.30-0.55	—
P21 ^d	T51621	0.18-0.22	0.20-0.60	0.20-0.40	0.20-0.30	3.90-4.25	—	—	—(Note d)	—
Special-Purpose 〈 特殊用途 〉										
L2	T61202	0.45-1.00	0.10-0.90	0.50 max	0.70-1.20	—	0.10-0.30	—	0.25 max	—
L6	T61206	0.65-0.75	0.25-0.80	0.50max.	0.60	1.25-2.00	0.20-0.30 ^c	—	0.50max.	—

a.除了 W 類型外的所有鋼材皆最多含有銅 0.25 、磷 0.03 及硫 0.03 。如所明定，硫可增加至 0.06 至 0.15%以改善 H、T 及 M 鋼材的可加工性。

b. 在微結構中不含石墨以改善可加工性。

c. 選擇性。

d. 亦包含 1.05-1.25 的鋁。

WATER-HARDENING TOOL STEELS 〈 水硬化工具鋼材 〉

工具鋼材中的水硬化族群 〈 AISI W 系 〉 基本上是純碳型鋼材，雖然在某些高碳類的鋼材中含有少量的鉻及釩以改善硬度及抗磨損性。碳含量變化在百分之 0.60 至 1.40 之間。一般來說，純碳的工具鋼材較合金工具鋼材便宜。藉著適當的熱處理，這些鋼材將會具有堅硬的麻田散體表面及堅韌的核心。這類鋼材爲了達到高硬度必須經過水淬，因此扭曲變形量較大。經過水硬化族群中之鋼材在所有的工具鋼材中的可加工性最佳，而且熱處理時的碳損失量最少。然而，它們比其他高合金工具鋼材的耐磨損及抗高溫能力較差。水硬化族群之鋼材硬化溫度亦較低。

SHOCK-RESISTING TOOL STEELS 〈抗衝擊工具鋼材〉

在抗衝擊族群 〈AISI S 系〉 之工具鋼材應用在需要極度韌性與耐重覆衝擊能力的地方。此類鋼材碳含量相對較低，介於百分之 0.4 至 0.65 之間。此類鋼材中的主要合金元素有矽、鉻、鎢，有時也會含鉬。矽會強化肥力鐵，而鉻則增加了可硬化性並稍具抗磨損性。鎢則賦予高溫下的硬度 〈即抗高溫軟化性〉，鉬則有助於增加可硬化性。這些鋼材大多為空氣硬化或油硬化。

抗衝擊工具鋼材中之高矽含量會加速脫碳的反應，因此在熱處理時應採取適當的預防措施讓脫碳降至最低。一般認為這類鋼材具有中等之抗磨損性及可加工性。通常硬度低於 60HRC。

抗衝擊工具鋼材被用來製造成形工具、打孔機、鑿子、氣動工具、剪刀及其他那些既需要抗衝擊又需要中度耐磨的用途。

COLD-WORK TOOL STEELS 〈冷作工具鋼材〉

此族群之工具鋼材 〈AISI O、A 及 D 系〉 被用於各種冷作的修剪及成形處理。由於大多數的工具可用一種或多種冷作工具鋼材，因此冷作工具鋼特別重要。

Oil-Hardening Type Steels 〈油硬化型鋼材〉

油硬化之低合金類 〈AISI O 系〉 鋼材含錳及少量的鉻與鎢。這些鋼材具有極佳的抗形變性，而這些鋼材與水硬化工具鋼材比較，在熱處理時較不易變形或斷裂。這些鋼材也相對便宜，而其高碳含量在室溫或接近室溫時短暫的使用狀況下具有適度的耐磨損性。這些鋼材的可加工性、韌性及抗脫碳性亦佳。螺絲攻、實心的螺紋模及成形工具是它典型的用途。

Medium-Alloy, Air-Hardening Type Steels 〈中合金、空氣硬化型鋼材〉

空氣硬化型中合金鋼材 〈AISI A 系〉 含有約 1%之碳，最高達 2%的錳、最高達 5%的鉻及 1%的鉬。合金含量增加 〈尤其是錳及鉬〉，會提供較高的可硬化性且賦予此種合金系空氣硬化性的特徵。這些合金亦具有優異的抗形變性及良好的抗磨損性。具有中等的紅熱硬度 〈在高溫下維持硬度之能力〉 及抗脫碳性。這些鋼材被用於沖下料模、成型模、修邊模及螺紋滾模。

High-Carbon, High-Chromium Type Steels 〈高碳、高鉻型鋼材〉

高碳、高鉻型 〈AISI D 系〉 鋼材含有最多 2.25%碳及 12.0%的鉻。這些鋼材亦包含鉬、釩及鈷等成分。高碳與高鉻的組合賦予這些鋼材優異的抗磨損性及抗形變性。這些鋼材亦具有良好的抗磨蝕性。硬化時的低變形量使此類鋼材受到沖下料與衝孔模；線、條及管之引伸模；螺紋滾模及製作標準規之歡迎。

HOT-WORK TOOL STEELS 〈熱作工具鋼材〉

熱作族群中之工具鋼材〈AISI H 系〉在高溫下具有良好的抗軟化性〈前述所提及的「紅熱硬度」〉。在許多應用中，由於這些鋼材用來熱作某些其他材料，例如熱鍛造與擠出模、鑄造模或塑膠模，因此會暴露在高工作溫度下。熱作工具鋼材就是用於這些用途上。

這些提升紅熱硬度的合金元素為鉻、鎢及鉬。此類工具鋼材依據其主要的合金元素分成三種。為獲得所需的紅熱硬度，鉻、鎢及鉬的總量至少必須要有 5% 以上。

Chromium Type Steels 〈鉻型鋼材〉

這些鉻鋼材〈H10 至 H19〉含有至少 3.25% 的鉻及較少量的釩、鎢及鉬。由於其具有中等濃度的鉻含量以及其他三種形成高碳化物的元素，因此具有良好的紅熱硬度。低碳及相對低的總合金含量在 40 至 50 HRC 時提升了韌性強度。較高的鎢及鉬含量會增加紅熱硬度，但韌性則會稍微減低。

這些鋼材極深度硬化，在空冷中能硬化厚達 12 吋〈305 mm〉。它們的空氣硬化的品質及平衡的合金含量是硬化期間低形變的最大功臣。這些鋼材尤其適用於各種熱作模具，特別是擠出模、模具鑄造模、鍛造模、心軸及熱剪刀片。

Tungsten Type Steels 〈鎢型鋼材〉

鎢鋼材〈H21 至 H26〉包含 9% 至 18% 的鎢及 2% 至 12% 的鉻。它們的合金含量相對於鉻型鋼材要高，增加了它們在高溫下的抗軟化性。然而，這也使得它們在硬度 45 至 55 HRC 時更容易脆裂。它們可以空氣硬化以減少形變，或在油或熱鹽中淬火使尺寸變形量降到最低。這些鋼材具有許多高速工具鋼材的特性，但韌性更佳。這些鋼材可被用於高溫，如車床加工和黃銅、鎳合金及鋼的擠型模。

Molybdenum Type Steel 〈鉬型鋼材〉

此鉬型〈H42〉熱作鋼材在特性及使用上類似於鎢型熱作鋼材。它的成分組成與各種類型鉬型高速工具鋼類似，但它的碳含量更低且韌性較大。它的初始成本較低並較不容易產生熱裂紋或格狀裂紋是主要優於鎢型熱作鋼材的地方。像所有高鉬鋼材一樣，熱處理 H42 鋼材時需要小心避免脫碳反應。

HIGH-SPEED TOOL STEELS 〈高速工具鋼材〉

高速工具鋼材被分為兩類：鉬型〈AISI M 系〉及鎢型〈AISI T 系〉。兩者最重要的機械特性大致相同。這些鋼材高度合金化且通常大量含鉬或鎢以及鉻、釩，有時爲了要能耐超高的紅熱硬度會添加鈷。其碳含量的範圍介於 0.75 至 1.5% 之間。

切割工具主要用高速鋼材，但也用於製造擠出模具、拋光工具及沖下料與衝孔機及衝孔模。

Molybdenum Type Steels 〈鉬型鋼材〉

鉬型高速工具鋼材被分類爲 AISI M 系，含有 3.5 至 9.5% 的鉬。全都含有鉻，而許多種類中還具有高達 12% 的鈷。這些鋼材被認爲能深度硬化、具有良好的抗磨損性、中等的可加工性和中等到差之抗脫碳性。

Tungsten Type Steels 〈鎢型鋼材〉

鎢工具鋼材被分類爲 AISI T 系，含有 0.75 至 1.5% 的碳及 12 至 18% 的鎢。這些鋼材具有鉬型鋼材的所有特性，但由於它的鎢及碳含量高，因此並不建議焊接。

MOLD STEELS 〈鑄模鋼材〉

鑄模鋼材〈AISI P 系〉碳含量相對較低，但其合金含量可高達 5%。整個塑膠鑄模產業都是這類鋼材，用以製造射出成形、真空成形及壓鑄成形模。鑄模鋼材大部分用於有溫度變化之場合，具有 28-32 HRC 範圍的硬度。這些鋼材使用標準的低碳鋼材熱處理工序滲碳及氮化。

SPECIAL-PURPOSE STEELS 〈特殊用途鋼材〉

由於此族群之特殊用途鋼材〈AISI L 系〉被發展來處理某些特定需求的用途，因此此族群被未被歸類於普通族群。

這些特殊用途之鋼材以鉻作爲主要合金元素，並輔以鉬、鎳及釩。高鉻含量不僅增加了可硬化性，同時它所形成堅硬複雜的鐵鉻碳化物亦增加了抗磨損性。鉬亦增加可硬化性，而鎳則增加了韌性。釩則簡單地使晶粒組織更爲細緻。

這些鋼材是油硬化，因此它們僅具有中等的抗變形性。用在既需要高抗磨損性又需要良好強度的機械工具如軸承、滾輪、離合器板、凸輪軸、筒夾及扳手等是典型的用途。高碳型則用於心軸、模具、鑽頭、螺絲攻、滾花輪及測量儀器。

WELDABILITY 〈可焊接性〉

增加工具鋼材的合金含量通常會相對增加抗磨損性、增加最大硬度、深化硬化的深度及尺寸穩定性。比如說，合金添加量比水硬化鋼材更高的空氣硬化鋼材具有較佳的機械性質，且通常在用作工具或模具時亦具有較優異的效能。然而，增加合金含量也降低了可焊接性，這是最需要注意焊接空氣硬化鋼材的原因。一般來說，在 AISI 的工具鋼材分類中，鋼材之合金含量與可焊接性成反比。影響可焊接性的主要元素為碳；當碳含量增加，焊接就更難以施行。因此，鋼材的碳當量為其焊接之難易度的良好指標。

通常施加至此類鋼材之一碳當量為國際焊接協會之下列表示式：

碳當量 = 碳% + 錳 % /6 + 〈鉻 + 鉬+釩〉% /5 + 〈鎳 + 銅〉% /15

HEAT TREATMENT 〈熱處理〉

供應商所交付的工具鋼材通常已退過火。由於此條件下的鋼材具有最佳的延展性，因此如果可能，工具及模具應在此條件下焊接。同時如果可能，硬化過的工具在焊接前也應該先退火。然後在焊後應該再熱處理到工具所需的特性。表 4.4 列出對各種工具鋼材建議的退火及硬化熱處理。然而，對特定工具鋼的適當熱處理應自製造商處獲得。在焊後需要做硬化熱處理時，焊接金屬亦必須順應此處理。當選擇適當的焊條做這種工作時，便必須考慮此因素。

若必須焊接已硬化之工具，必須依循適當的程序以盡量降低斷裂的可能。所有工具的維修焊接幾乎都要如此。適當的預熱及焊後熱處理可能包含應力消除或回火。

一般來說，工件的溫度不應超過原始的回火溫度。

FULL ANNEALING 〈充分退火〉

工具鋼材在焊接前退火可軟化材料。下列是典型的程序：

- 〈1〉 慢慢的、逐漸加熱到略高於鋼材之變態溫度範圍。
- 〈2〉 維持該溫度一段時間使整個工件溫度均勻，且完全變態到沃斯田體
- 〈3〉 為防止變態成麻田散體所以要緩慢的冷卻，以產生軟性的微結構。

圖4.3顯示一個規劃整個冷卻過程以避免沃斯田體變態到麻田散體的變態圖。依據所含的特定合金成分，典型的工具鋼材冷卻至約1000 °F 〈538 °C〉的最大的冷卻速率約為每小時25 °F 至50°F 〈14 °C 至28 °C〉。通常，進一步的冷卻可以更快的速率在靜止的空氣中進行。同時，必須°F 〈14 °C 至28 °C〉。通常，進一步的冷卻可以更快的速率在靜止的空氣中進

行。同時，必須調整冷卻速率以順應工具的尺寸，使熱應力降到最低。小工具之冷卻速率可以比大工具高。若使用等溫變態圖而非持續冷卻變態圖來計劃冷卻過程，則必須針對持續冷卻變態圖比等溫變態圖的變態時間較長且溫度較低的因素作補償。

退火設備必須提供防止碳化或脫碳化的方式。可用大氣壓火爐或鹽浴加熱。某些情況下也可裝在箱內退火。

STRESS RELIEVING〈應力緩和〉

應力緩和是用來減少由焊接或加工所產生的內應力。應力緩和是將工具加熱至低於鋼材之變態溫度範圍，使鋼材在此溫度下產生相變。

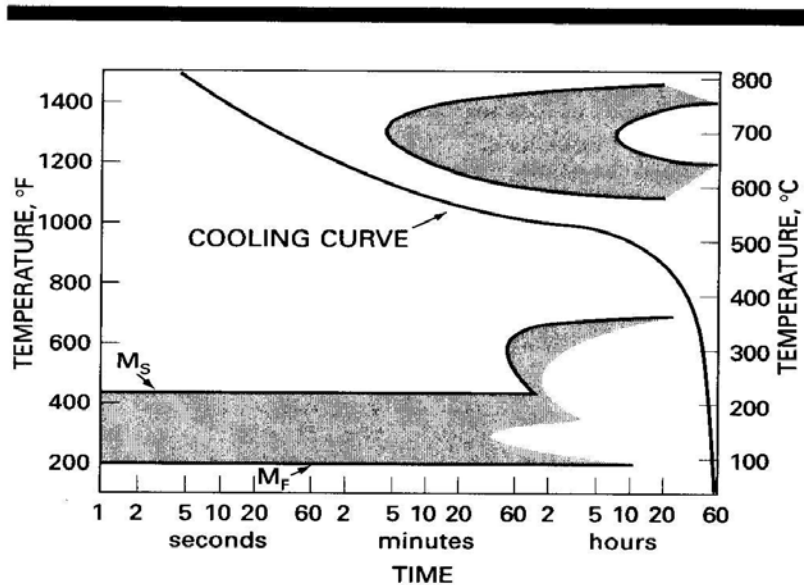
對於並未硬化的材料而言，通常使用約 950-1100 °F 〈510-590 °C〉的應力緩和溫度。當工具處於已硬化條件下時，則要藉由回火來緩和應力。焊接已硬化之工具，應力緩和溫度不應該高於鋼材的回火溫度。應力緩和處理會改變整個工具的硬度及強度，反之焊接僅使熱影響區變軟。應力緩和所用之加熱及冷卻速率應與回火所用之加熱及冷卻速率類似。

NORMALIZING 〈正常化〉

正常化是一種將鋼材加熱到高於鋼材變態溫度範圍後，接著在空氣中充分的將鋼材冷卻至低於變態溫度的範圍，形成後續硬化所需微細結構的處理程序。此種處理通常結合應力緩和。大部分已經退火的工具鋼材並不需要正常化。

AUSTENITIZING 〈沃斯田體化〉

此種操作係緩慢地將鋼材加熱至高於其變態的溫度範圍，並在該溫度下維持一段足以分解碳化物的時間。小工件之加熱速率可以比大工件快些。通常以非常緩慢的速率將高合金鋼材加熱至剛好



Note: M_s (martensite start) is where martensite transformation begins. M_f (martensite finish) represents 100% martensite.

注意 M_s 〈麻田散體變態點〉是麻田賽體開始變態的地方，M_f 〈麻田散體變態結束〉表示 100%麻田散體

圖 4.3 等溫變態圖上繪製避免變態麻田散體的冷卻曲線

比鋼材之變態範圍低的溫度。接著快速地將鋼材加熱至數百度或更高的沃斯田體化溫度範圍。

對工具鋼材進行沃斯田體化時，需要採取多項預防措施。首先，應在適當的氣體保護環境中或在真空下加熱工具及模具以避免產生鱗片及脫碳化。在氧氣充裕的環境中，鋼材將會在依溫度及時間產生垢皮。亦會發生脫碳，特別是在沃斯田體化的溫度範圍內。因為要預防晶粒組織成長，浸沒時間應避免過長。最後，在沃斯田體化期間應適當地支撐工具，以避免工具凹陷及扭曲。f

QUENCHING 〈淬火〉

淬火是爲了要讓沃斯田體冷卻態成麻田散體。依據合金成分工件的厚度，工具鋼材可在水、鹽水、油、聚合物、鹽或氣中淬火。淬火媒介必須充分冷卻工件以獲得需要的硬度。而，由於工具會有斷裂的危險，所以冷卻速率應避免過快。

空氣硬化工具鋼材可在 1000 1200 °F 〈538 至 649 °C〉淬火。且工具的溫度穩定後，應立刻將件自淬火媒介中移出。若淬火時太久，沃斯田體會開始變態。在淬火後，工具可在回火前用空氣或油冷卻到約 150 °F 〈66 °C〉。

水硬化鋼材很容易在淬火期間扭曲並改變尺寸。在水淬火期間所累積的內部應力可輕易地使工具元件在尖角或突兀的形狀改變使應力集中的地方斷裂。爲此，通常使用微細的水霧噴塗來施行淺層硬化。在需要浸沒的地方，用鹽水崩解氣泡使冷卻均勻，變形量反比單純的水浴更少。

TEMPERING 〈回火〉

淬火後應立即退火以緩和應力、防止斷裂並增強合金。大部分情況下，在淬火與回火之間不應將工具冷卻至室溫。相反地，應在 150 至 200 °F 〈66 至 93 °C〉下自淬火媒介中移出工具並立即回火。

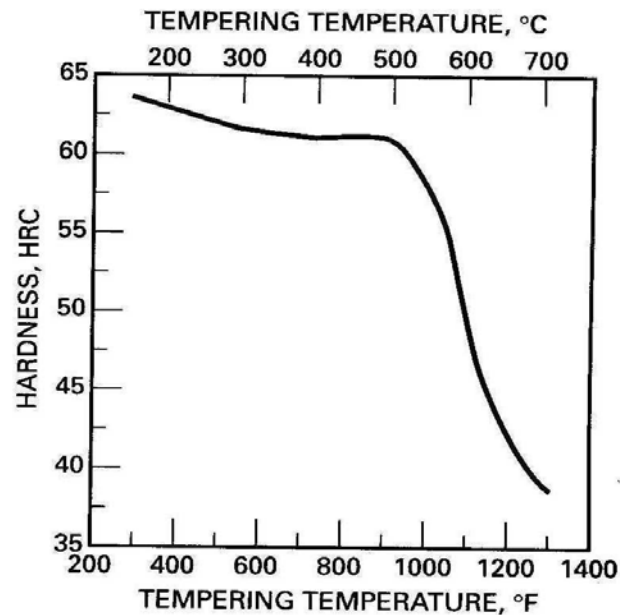


Figure 4.4—Typical Tempering Curve for AISI D-2 Tool Steel

圖 4.4—AISI D-2 工具鋼的典型回火曲線

變
及
空
的
然

至
一
工
間
熱

在表 4.4 及表 4.7 中顯示了各種工具鋼材的通常回火溫度。亦可從材料供應商或工業手冊中找到圖 4.4 中所示的回火曲線。

對特定鋼材在其建議的回火範圍內，較高的溫度會產生較大的強度（toughness）但卻會犧牲部分硬度。在回火範圍低點下所進行的回火硬度及抗磨損性最大，但強度（toughness）卻較低。建議施行兩個或更多個回火循環並在循環間將鋼材冷卻到室溫，使冶金結構最佳。由於已硬化卻還未回火之工具鋼材在焊接時可能會斷裂，因此不建議對其進行焊接。

表 4.4 典型的代表性工具鋼材熱處理程序

類型	群組	退火溫度 °F(°C)	沃斯田體溫度 °F(°C)	粹火媒介 ^a	回火溫度 °F(°C)	硬度 HRC ^b
W1,W2	水硬化	1360-1450(738-788)	1400-1550(760-843)	B,W	350-650 (177-343)	54-64
S1	抗衝擊	1450-1500(788-816)	1650-1750(899-954)	O	400-1200(204-649)	40-58
S5	抗衝擊	1425-1475(773-801)	1600-1700(871-927)	O	350-800(177-426)	50-60
S7	抗衝擊	1500-1475(816-843)	1700-1750(927-954)	A,O	400-1100(204-621)	47-58
O1	油硬化	1400-1450(760-788)	1450-1500(788-816)	O	350-500(177-260)	57-62
O6	油硬化	1400-1450(760-788)	1450-1500(788-816)	O	350-600(177-316)	58-63
A2	空氣硬化	1550-1600(843-871)	1700-1800(927-982)	A	350-1000 ^c (177-316)	57-62
A4	空氣硬化	1360-1400(738-760)	1500-1600(816-871)	A	350-800 ^c (177-426)	54-62
D2	空氣硬化	1600-1650(871-899)	1800-1875(982-1023)	A	400-1000 ^c (204-538)	54-61
H12, H13 H19	熱作	1550-1600(843-871)	1825-1900(996-1037)	A	1000-1200 ^c (538-649)	38-56
M1	高速	1500-1600(816-871)	2150-2225(1177-1218)	A,OS	1000-1100 ^c (538-593)	60-65
M2	高速	1600-1650(871-899)	2175-2250(1190-1232)	A,OS	1000-1100 ^c (538-593)	60-65
M10	高速	1500-1600(816-871)	2150-2225(1177-1218)	A,OS	1000-1100 ^c (538-593)	60-65
T1 T2 T4	高速	1600-1650(871-899)	2300-2375(1260-1301)	A,OS	1000-1100 ^c (538-593)	60-66
P20	模具鋼	1400-1450(760-788)	1500-1600(816-871)	O	900-1100 ^c (482-593)	28-42

FLAME HARDENING 〈火焰硬化〉

火焰硬化為一種使用氧乙炔氣體火炬對工具或模具局部進行熱處理並利用空氣或液體淬火來進行冷卻的程序，通常氧乙炔燃料氣體火炬為手持型。硬化係藉由將鋼材逐漸加熱至適當的沃斯田體

化溫度接著用足以形成堅硬麻田散體的速率達成淬火。

此處理係在整個工具及模具的元件太大而無法放入火爐或沒有火爐的情況下用來硬化工具及模具的工作區域。在需要硬化邊緣而蕊心柔軟以達到特定目的的最佳需要應用，亦可使用此處理方法。

其他局部硬化的方法包含了感應及雷射硬化，這些熱源中的一種取代氧乙炔氣體火炬。可手動或利用程式化的自動火炬操控裝置來施行感應硬化。雷射硬化涉及了較精準的控制，因此需要機械化之動作系統。

ARC WELDING 〈電弧焊〉

工具鋼材的電弧焊是將焊條添加到焊條與工件間所形成電弧的熔融焊池中。電弧藉著惰性氣體、助焊劑或在焊接期間分解之焊條塗膜來保護。工具鋼材用電弧焊完成下列之一或多種目的：

- 〈1〉組裝零件以形成工具或模具
- 〈2〉使用表面硬化技術來製造複合工具或模具
- 〈3〉爲了工程變更而改變工具或模具
- 〈4〉修正加工或研磨之錯誤
- 〈5〉藉由焊接整建來修復磨損的區域
- 〈6〉修復斷裂或其他受損區域

利用焊接來組裝元件並製造複合工具是組合工具鋼材並使用較便宜材料的極佳策略。在毋需工具鋼材之硬度或抗磨損性便達到令人滿意之效能的元件上就可能會用這些策略。較強韌的金屬可用來支撐工具鋼材元件或焊積。工具及模具焊接亦可大幅應用於改造工具及模具之形狀，以及再生舊元件到原有的尺寸。

在此電弧焊章節的剩餘部分被分成兩個子章節，包含下述的修復程序及複合工具與模具。

REPAIR PROCEDURES 〈修復程序〉

從材料識別到焊後熱處理過程〈WPS〉，不能過分強調整個程序控制的重要性。在各種情況變化下焊接修復程序〈WPS〉提供維持必要控制的方法。

General Procedures 〈一般程序〉

圖 4.5 中顯示一個常用的修復焊接程序實例。成功的焊接修復程序包含對下列主要步驟的注意事項：

- 〈1〉 決定待焊接的材料類型及其熱處理條件。
- 〈2〉 進行任何所需的熱處理使工具或模具能焊接。

WELDING PROCEDURE SPECIFICATION (WPS)

Date Sept 29, 1998 Identification D2 Edge Repairs
 Revision 10-98
 Company name Tool and Die Welding, Inc.
 Supporting PQR no.(s) 3A and 3B Type- Manual Semi-Automatic ()
 Welding process(es) GTAW Machine () Automatic ()
 Backing: Yes () No
 Backing material (type) —
 Material number D2 Group Tool Steel To material number D2 Group Tool Steel
 Material spec. type and grade AISI/SAE D2 To material spec. type and grade AISI/SAE D2
 Base metal thickness range: ~~Groove~~ 1 in. (25.4 mm) Flat
 Deposited weld metal thickness range 1/8 in. (3.2 mm)
 Filler metal F no. — A no. N.A.
 Spec. no. (AWS) AISI D2 Flux tradename N.A.
 Electrode-flux (Class) — Type N.A.
 Consumable insert: Yes () No Classifications N.A.
 Shape N.A.
 Size N.A.
 Position(s) of joint Flat Ferrite number (when reqd.) N.A.
 Welding progression: Up Down ()
PREHEAT: GAS: Argon
 Preheat temp., min 950 °F Shielding gas(es) Argon
 Interpass temp., max 950 °F - 1050 °F Percent composition 100%
 (continuous or special heating, where applicable, should be recorded) Use air recirculating type oven. Flow rate 20 CFH
 Root shielding gas N.A.
POSTWELD HEAT TREATMENT: Trailing gas composition N.A.
 Temperature range Double Temper 1st 950°F, 2nd 900°F Trailing gas flow rate N.A.
 Time range Soak at 1 hr per inch of thickness. Hardness after tempering 56-58 HRC.
 Tungsten electrode, type and size AWS EWTh-2 3/32" in. (2.4 mm) diameter
 Mode of metal transfer for GMAW: Short-circuiting () Globular () Spray ()
 Electrode wire feed speed range: —
 Stringer bead Weave bead Peening: Yes No ()
 Oscillation —
 Standoff distance — Material preparation: remove fatigued metal, grind chamfer or "J" groove. Avoid sharp corners.
 Multiple () or single electrode ()
 Other —

Weld layer(s)	Filler metal			Current			
	Process	Class	Dia.	Type & polarity	Amp range	Volt range	Travel speed range
1	GTAW	AISI D2	1/16 in.	DCEN	60-90		NOTE: Allow approximately 2 mm excess weld metal buildup for finish grinding.
2	"	"	"	"	"		
3	"	"	"	"	"		

Approved for production by To be signed by responsible manager.

Figure 4.5—Sample of Repair Weld Procedure Specification (WPS)

- 〈3〉 製備要焊接之表面清潔。
- 〈4〉 選擇適當的焊接程序及焊條以滿足需求的用途。
- 〈5〉 選擇最小直徑之焊條、焊絲或裸棒以有效地焊接並使焊積具有所需要的特性。
- 〈6〉 將鋼材預熱至適當的溫度，元件一定要加熱至中心。
- 〈7〉 使用適合於母材的焊接程序來沈積焊條。層間溫度維持在不超過母材回火曲線的上限。
- 〈8〉 焊後立即加熱使焊積與母材間的溫差最小化。緩慢地冷卻至恰好高於室溫的溫度，接著進行應力緩和或回火以達到期望的特性。

Procedures for Annealed Tool Steel 〈已退火之工具鋼材的程序〉

工具或模具之修復焊接的操作流程取決於其前加熱處理、欲沈積之金屬量及修復的位置。當待焊接之工具或模具處於已退火之條件下時，建議依照下列流程：

- (1) Preheat 〈預熱〉
- (2) Weld with the appropriate filler metal 〈利用適當的焊條來進行焊接〉
- (3) Re-anneal 〈再退火〉
- (4) Rough machine 〈粗加工〉
- (5) Harden and temper 〈硬化及回火〉
- (6) Finish machine or grind 〈精細加工或研磨〉

Procedures for Hardened Tool Steel 〈已硬化之工具鋼材的燒焊程序〉

當待焊接之工具或模具已被硬化，建議進行下列之修復流程：

- (1) Preheat 〈預熱〉
- (2) Weld with the appropriate filler metal 〈採用適當的焊條焊接〉
- (3) Postheat and cool 〈焊後加熱及冷卻〉
- (4) Temper 〈回火〉
- (5) Finish machine or grind 〈精細加工或研磨〉

過去，在焊接前及焊後通常會對已硬化之工具退火，以便在再硬化前加工。但使用現代化的材料如碳化物、陶瓷、鑽石及立方體氮化硼〈CBN〉銑刀降低了退火的需要，因而簡化了整個流程。

若情況允許，工具應在已硬化狀況下焊接。如此將可免於需要退火及再硬化，減少了這些熱處理相關的扭曲、尺寸改變及重做。若一母材已事先硬化過但還沒有回火，則焊工無法安全地對其進行焊接。在焊接前退火或回火是必要的。

在某些情況下，在非關鍵部位可進行修復焊接並可使用非硬化的焊條。若焊接部位會磨耗，則可

使用較軟的合金〈如 MAGNA 303〉打底，然後再用適當的工具鋼焊覆填高。打底層應具有足夠的強度以支撐工作面層。工具鋼材焊層應具有作為模具或鑄模所需通常類似於已硬化母材回火後之特性，。工具鋼材焊層亦應有足夠的深度，以包容非硬化下層的稀釋。最常用的最小厚度工具鋼材焊層是 1/8 英吋〈3.2 mm〉。

Identification of Base Metal 〈識別母材〉

工具的原始規格是判斷要焊接之工具鋼材類型及其熱處理條件的最佳來源。若沒有原始規格的資訊，則必須進行化學成分分析以判斷鋼材中的碳及合金含量。有經驗的焊工在沒有其他方法時可用火花測試，以粗略的估計鋼材類型。

依據工件的尺寸及結構，使用桌上型或手提式儀器測試硬度，以判斷熱處理的狀況。有時此動作可用硬度測試銼來銼。若銼起來堅硬，則鋼材顯然已被硬化熱處理。若鋼材軟，則是退火的狀況。

Process Selection 〈選擇焊接程序〉

每一種常見電弧焊都可用於修復或升級工具、模具及鑄模及製作複合工具。選擇的重點在於焊積量、工具的尺寸及複雜度、及所涉及的合金成份。

最常用的電弧焊為氣體鎢電弧焊〈GTAW〉簡稱氬焊、保護金屬電弧焊〈SMAW〉簡稱電焊、氣體金屬電弧焊〈GMAW〉簡稱 CO₂ 焊、藥芯焊絲電弧焊〈FCAW〉簡稱包藥氬焊及潛電弧焊〈SAW〉。另有其他的處理如粉末式火焰焊〈FLSP〉簡稱噴焊及電漿電弧焊〈PAW〉，在某些恰當的用途下亦可得到不錯的效果。

由於氬焊能夠更精準地控制而且輸入的熱最少，因此大多數小規模的修復工具、模具及鑄模使用氬焊。對於較大規模修復大型工具和模具而言，則因為包藥氬焊、電焊或 CO₂ 焊積率遠遠較高，因此會使用這類器具與焊條。SAW 則通常用於研磨輥及大模具之焊接，以獲得預期的均勻焊道寬度及厚度。

在必需大規模的移除損壞或有缺陷的鍛造工具如沖壓塊、撞槌、生鐵錠流道段及鎚座，並以堅韌密實的焊積填補時，就廣泛的使用電焊，焊條的直徑最大可達 3/4 英吋〈19 mm〉。每小時可沈積多於 60 磅〈27 公斤〉的金屬。

Selection of Filler Metals 〈選擇焊條〉

大部份的工具鋼材可用焊條焊接。使用之尺寸則取決於受損區域的寬度及深度。對大部分工具鋼材而言，使用的焊條直徑介於 0.062 至 0.25 英吋〈1.6 mm 至 6.4 mm〉之間。若是要大規模的修復模具及鑄模，則可使用直徑上至 0.75 英吋〈19 mm〉的焊條。實心焊線的直徑有 0.035 至 0.16 英吋〈0.9 mm 至 4.0 mm〉供選擇。在焊接較銳利的邊緣時，焊工應選用較小直徑的焊條使熱輸

入減至最小。對大部分工具鋼焊條而言，建議使用直流電，電焊條正極〈DCEP〉。建議的焊接電流通常會標示在焊條包裝上。

在修復已退火的部件時，應選對熱處理反應與母材比較相近的焊條。在修復已硬化之工具鋼材時，焊條要選用與母材特性一致的材料。在選擇焊條時應考慮要裁切或成型的金屬的抗熱性、抗磨蝕性、抗衝擊性以及厚度等因素。

在為工具及模具焊接選擇適當的焊條時，應考慮下列的因素：

- 〈1〉 母材的化學組成
- 〈2〉 待焊接件的熱處理條件〈退火、硬化及回火等〉
- 〈3〉 可加工性及研磨需求
- 〈4〉 被焊接部位的的工作條件〈硬度、堅韌及磨損等製造需求〉
- 〈5〉 焊接率〈沈積速率、熱輸入、材料成本等〉
- 〈6〉 焊接容易性〈所需的操作者技能〉
- 〈7〉 焊接後之熱處理需求

若焊接工具鋼材已經過退火或熱軋，則最好是選擇化學組成與母材匹配的焊條。使焊積與硬化熱處理的反應一致。然而，當待焊接之工具或模具已經過硬化處理且並不會再次被熱處理時，則可嚴格地根據工作條件需求選擇焊條。

就不同合金成分而言，其焊積硬度也會不同，而影響硬度的因素有：

- 〈1〉 預熱溫度
- 〈2〉 焊接程序及〈熱輸入〉順序
- 〈3〉 焊條被母材稀釋性
- 〈4〉 冷卻速率
- 〈5〉 焊後之熱處理

Filler Metal Categories. 〈焊條之種類〉

常用於焊接工具及模具的焊條可被分為下列三個主要類別：

- (1) AISI standard tool steels (AISI 標準工具鋼材)
- (2) Low-alloy steels (低合金鋼材)
- (3) Special purpose joining and underlay materials (特殊用途之接合及襯墊材料)

AISI 標準工具鋼焊條就其所產生的焊積對應至美國鋼鐵協會工業標準之基本工具等級：水、油及空氣硬化；熱作；及高速鋼。表 4.4 中則列出常用之 AISI 工具鋼材類型及其熱處理溫度表。通常，

不論母材的成份為何，在上述之焊接條件下所產生的這些焊積都很硬。

低合金鋼焊條被歸類為低合金鋼材。其在室溫下所產生的焊積具有中等的硬度及堅韌度且多少對熱處理有反應，尤其在母材稀釋時。常用的低合金鋼材包含 AISI/SAE 8620、6150、4130、4140 及 1060。

被分類為特殊用途之接合及襯墊焊條包含了用來接合不同材質及用於修復斷裂的高強度鋼及不銹鋼。此類別亦包含了用於修復鑄鐵的各種鎳—銅—鐵合金與大規模填高用的打底層。這些焊積隨後可焊上硬而抗磨損之工具鋼材焊材。有些特殊用途材料亦因為其抗熱性或抗腐蝕性或是同時具有此兩種特性而被使用。

Filler Metal Forms. 〈焊條形式〉

為配合各式各樣的電弧焊程序，所以焊接工具及模具鋼材所用之焊條亦有幾種不同的形式〈見表 4.5〉。在市面上供應商所提供的有：SMAW 用之包覆焊條、氬焊用裸棒、CO₂ 焊實心捲軸焊線及包藥氬焊用之藥芯焊線。當無法找到完全相同的合金成分時，製造商通常會建議合適的替代物，此替代物在熱處理時會與母材反應相同，或在焊接時產生相近的特性。

表 4.5 焊接處理方式及工具鋼材焊條形式之對應表

Filler Metal Type/AIS I) *	Welding Process 〈焊接程序〉			
	電焊	氬焊	CO 焊	包藥氬焊
W1,W2	X	X	X	
S7	X	X	X	X
O1,O6	X	X	X	
A2	X	X	X	
D2	X	X	X	
H12	X	X	X	X
H13	X	X	X	X
H19	X	X	X	X
M1	X	X	X	
M2	X	X	X	
T1	X	X	X	
P20		X	X	

〈AWS 並未具體指定工具鋼材焊接焊條〉

工具鋼材用之電焊條設計方式與標準碳鋼及低合金鋼材電焊條的設計方式相同。包覆藥皮包含特定的元素，以穩定電弧，熔化熔融金屬並在焊道上方形成保護熔渣。混合在焊條或包覆藥皮層內的合金元素也可能添加在焊道上。

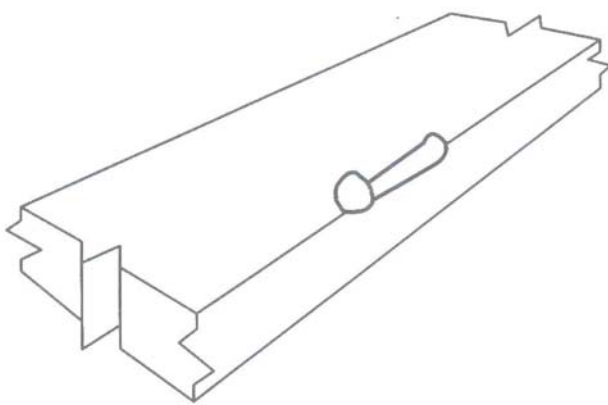
包藥氬焊用之藥芯成分類似於低碳鋼捲軸管內之藥芯成分。氬焊之裸棒及 CO₂ 焊之實心焊線並無包覆層或藥芯，因此必須混以其它的合金元素。

Preparation For Welding 〈焊接準備〉

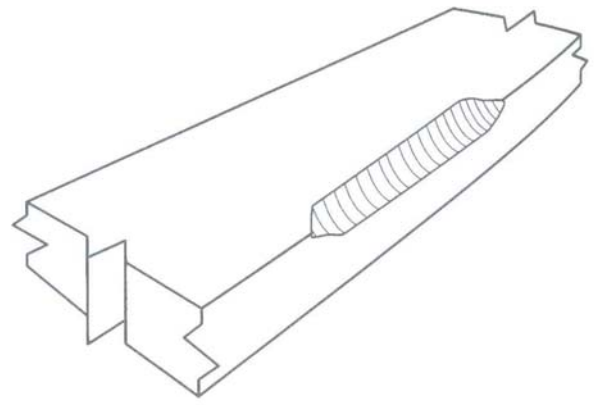
在修理切割刀緣或其他工作面時，受損的區域必須刨除一致深度以移除任何缺陷且達到所需硬度及耐磨性之焊積厚度。母材亦必須考慮稀釋率。

Undercutting and Surface Preparation. 〈底部切除及表面準備〉

修復區域無論為局部或整個邊緣，刨除底部或溝槽的類型及深度取決於要沈積金屬的量。對於少量沈積而言，通常使用 1/4 英吋〈6 mm〉及 45 度角的開槽。對較大的沈積物而言，則需要開 U 型或 J 型的溝槽〈見圖 4.6 及圖 4.7〉。

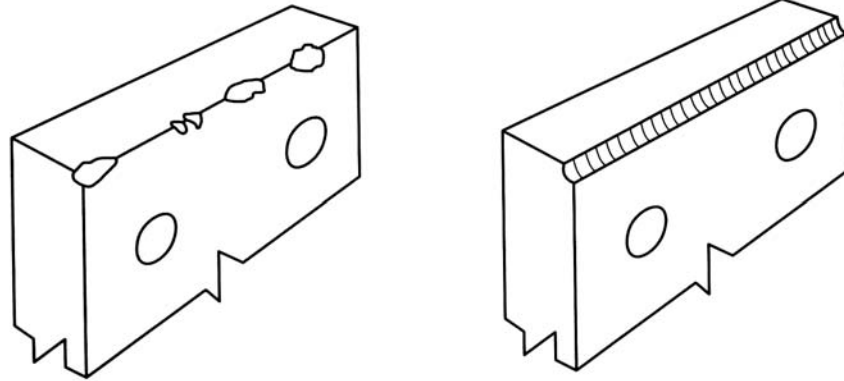


(A) 損壞的刀緣



(B) 銼平以備燒焊

圖 4.6—局部修理時之工件準備



(A)損壞的刀緣

(B)銼平以備燒焊

圖 4.7—全面修理時之工件準備

在焊接汽車工業用之鑄鐵模具時，必須特別注意溝槽底部的準備以確保焊條與母材之良好黏合。非常重要的是要將焊接區域底部切割到至少足夠兩層黏合填充材料如鎳合金到鑄造物的深度，再加上用於工作表面的工具鋼材兩層所需的厚度。表 4.6 列出需要此程序的汽車工業標準鑄鐵等級。

這些模具通常塗覆 S-7、H-12、H-13 或 H-19 焊條。由於這些合金的抗衝擊性良好，因此亦用於沖壓及修邊用途。更嚴苛工作環境則需要更抗磨損的材料，如 A-2 或 M-2。

焊接工具鋼材時，其表面必需潔淨、乾燥及平滑。在清潔這種表面時，必須注意避免任何會產生應力集中並弱化工具的區域。裂痕的敏感性對可硬化性高的工具鋼材影響更大。因此，應自待焊接區完全移除所有的裂痕，且表面應平滑。

潔淨度對於焊接的成功與否非常的重要。無論何時，應利用鹼性清潔溶液清理待焊接之元件並以熱水或蒸氣加以沖洗。若潤滑劑及其他碳氫化合物殘留在待焊接區或接近待焊接區就很容易斷裂，因此必須清除所有微量的潤滑劑及其他碳氫化合物。

常在焊接前用的材料移除法有：傳統加工、放電加工（EDM）、研磨、壓縮空氣配合碳弧鑿挖及熱切割（氧氣燃料及電漿切割）。壓縮空氣配合碳弧鑿挖及熱切割需要預熱而且合金成份較高之工具鋼材不適用。

表 4.6 汽車鑄鐵模具之焊接黏著所需底部開挖深度

Designation 〈名稱〉	SAE Designation 〈SAE 命名〉
Unalloyed Grey Iron 〈非合金化灰口鐵〉	J431/G2500
Alloyed Grey Iron 〈合金化灰口鐵〉	J431/G3500
Unalloyed Ferritic 〈Nodular〉 Iron 〈非合金化肥力鐵之球墨鑄鐵〉	J434/D4512
Alloyed Pearlitic 〈Nodular〉 Iron 〈合金化波來鐵之球墨鑄鐵〉	J434/D5506

預熱

無論工具鋼材是什麼成分或用於那種特別的工作狀況，工具鋼材焊接前必需預熱。然而，最佳的預熱溫度取決於合金含量、結構及材料的熱處理條件。一般而言，合金成份較高的空氣硬化鋼材需要的預熱溫度較高且要較仔細的控制。

表 4.7 列舉了數種工具鋼材的預熱溫度範圍。這些溫度不應該與那些在硬化期間用於奧氏體化前的預熱溫度混淆。

已硬化之工具鋼材在焊接前預熱時，預熱溫度不應超過硬化後的回火溫度。預熱至更高的溫度會使工具過度回火而軟化。若不知回火溫度或是厚的部件，則預熱溫度應採用該鋼材建議預熱溫度範圍的下限。對於已退火之元件或薄的部件，則該元件應加熱至該合金建議溫度範圍的上限。不論什麼狀況，預熱溫度應儘可能地維持在溫度的限度之內，以避免斷裂。此亦牽涉到整個焊接處理過程中熱輸入的控制。預熱的重要性不可過度強調，尤其是對高度合金化之工具鋼材。

某些常用的預熱的方法像是使用電爐或瓦斯燃爐、開放式之瓦斯火焰加熱臺、遠紅外線加熱床及局部加熱用之手持式火炬或瓦斯噴燈。

Welding Techniques 〈焊接技術〉

此章節中的技術討論說明如何選擇焊條、工件定位、焊道成型、維持層間溫度、鎚打以及如何在大规模焊敷工作中使用襯墊焊條打底。

Filler Material Selection. 〈選擇焊條〉

從事任何焊接，都必須選擇焊條。在本章節，依據所需求的焊接結果，規劃特殊的焊接程序。

Workpiece Positioning. 〈工作件定位〉

在修復切割刀緣時，刀刃應放在適當位置使焊接金屬能夠溢過或伸展包覆整個邊緣。在相鄰的打火板上點火可以避免火口凹陷。

應該使用略為偏向軸線的水平位置進行焊接。若有可能，焊接應為由下向上的方向。重力會使熔融的焊接金屬向下流並均勻地累積。若有熔渣，熔渣也會回流並使坑口保持潔淨。應使用串珠熔接焊道而不要用編織焊道。

Bead Formation. 〈焊道成型〉

焊接速度應調整使焊道均勻沈積並確保焊金與母材均勻熔化。藉由頻繁的削鑿、刷擦或同時用兩者來潔淨焊點。

應使用許多道小焊道填充溝槽。最終焊道的焊珠尺寸應調整使修復的尺寸盡可能接近完工尺寸，使研磨更加容易。當電焊之焊弧要消弧時，應逐漸地減少焊弧長度。當焊弧長度減少時，焊條應迅速自熱的焊道移除。這樣能避免深化火口和熔化相鄰的尖緣。

在修復切割刀緣時，應防止焊接時在修復之末端產生火口及熔化邊緣。如圖 4.8 〈A〉中所示焊接應從溝槽之一端以單一方向焊向短距離內的另一端。接著如圖 4.8 〈B〉中所示，焊接應以相反方向焊向第一道焊珠並重疊。當修復深層損傷之切割刀口或引伸模具並形成表面時，焊接應從待焊區的底部開始，逐漸地向上直到填滿。第一及第二焊道所用之電流應略高於後續之焊道。

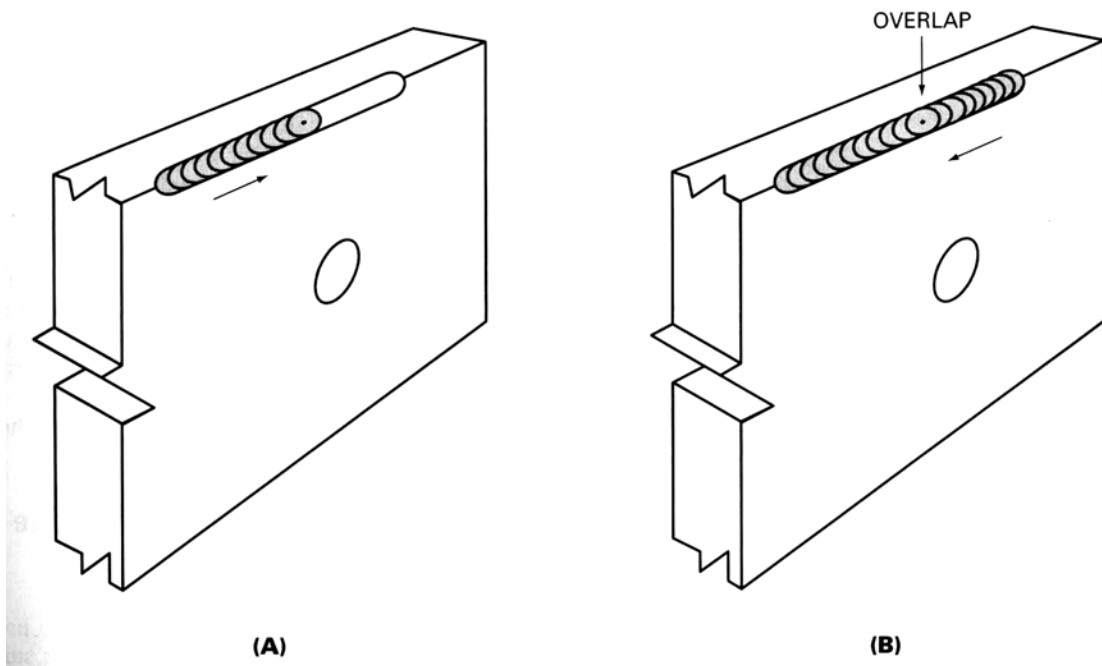


圖 4.8 — 在維修燒焊過程中避免火口或刀緣凹陷的技巧

Interpass Temperature. 〈層間溫度〉

在焊接過程中應盡可能地維持母材溫度均勻，以確保焊接金屬有均勻的硬度。再次提醒，母材之溫度不應超過其回火溫度。跳焊並使用串珠倒退焊道等技巧可幫助控制層間溫度，換言之消除焊道底部之斷裂。

表 4.7 焊接工具鋼材常用的預熱、焊接後加熱及回火溫度

類型	族群	已退火之母材		已硬化之母材		
		預熱及焊後加熱 °F 〈°C〉 ^a	焊積硬度 HRC ^b	預熱及焊後加熱 °F 〈°C〉 ^a	回火溫度 °F 〈°C〉	焊積硬度 HRC ^c
W1,W2	水硬化	250-450 〈121-232〉	50-64	250-450 〈121-232〉	350-650 〈177-343〉	56-62
S1	抗衝擊	300-500 〈149-260〉	40-58	300-500 〈149-260〉	400-1200 〈204-649〉	52-56
S5	抗衝擊	300-500 〈149-260〉	50-60	300-500 〈149-260〉	350-800 〈177-426〉	52-56
S7	抗衝擊	300-500 〈149-260〉	47-58	300-500 〈149-260〉	400-1100 ^d 〈204-621〉	52-56
O1	油-硬化	300-400 〈149-204〉	57-62	300-400 〈149-204〉	350-500 〈177-260〉	56-61
O6	油-硬化	300-400 〈149-204〉	58-63	300-400 〈149-204〉	350-600 〈177-316〉	56-61
A2	空氣-硬化	300-400 〈149-204〉	57-62	300-400 〈149-204〉	350-1000 ^d 〈177-538〉	56-61
A4	空氣-硬化	300-400 〈149-204〉	54-62	300-400 〈149-204〉	350-800 ^d 〈177-426〉	60-62
D2	空氣-硬化	700-900 〈371-482〉	54-61	700-900 〈371-482〉	400-1000 ^d 〈204-538〉	58-60
H12,H13, H19	熱作	700-1000 〈371-538〉	38-56	700-1000 〈371-538〉	1000-1200 ^d 〈538-649〉	46-54
M1	高速	950-1050 〈510-566〉	60-65	950-1050 〈510-566〉	1000-1100 ^d 〈538-593〉	60-63
M2	高速	950-1050 〈510-566〉	60-65	950-1050 〈510-566〉	1000-1100 ^d 〈538-593〉	60-63
M10	高速	950-1050 〈510-566〉	60-65	950-1050 〈510-566〉	1000-1100 ^d 〈538-593〉	60-63
T1,T2,T4	高速	950-1050 〈510-566〉	60-66	950-1050 〈510-566〉	1000-1100 ^d 〈538-593〉	61-64
P20	模造鋼材	800-1000 〈426-538〉	28-42	800-1000 〈426-538〉	900-1100 〈480-595〉	28-37

- a. 焊接時之 **Filler Metal** 〈焊條〉及焊後加熱溫度
- b. 硬度隨著熱輸入及冷卻速率而改變
- c. 後熱及回火後之硬度；硬度隨著熱輸入及冷卻速率而改變
- d. 雙重回火

Peening 〈鎚打〉

每一焊道在金屬冷卻至低於約 700 °F (371 °C) 之前都應鎚打。當維修工作規模很大時，這樣會使焊接過程偶而中斷。鎚打是一種加工硬化焊道並消除收縮應力的方法。通常使用球狀的圓錘鎚頭，但對於大規模的修復工作而言，氣動鎚頭更有效率。眾所皆知鎚打焊道的優點，所以常用這個方法。

鎚打必須正確地做以延伸熱的焊積，否則會導致不良的後果。鎚打太少會無法適當地緩和收縮應力。另一方面，過度鎚打則又可能會導致斷裂或其他有害的結果。

Large Build-Ups and Underlays. 〈大面積填高及底層襯墊〉

通常，修復嚴重受損之工具或模具至原本尺寸，需要厚的焊積。焊覆厚厚一層的焊積可能會導致斷裂。爲了將斷裂的可能性減至最少，應使用易延展、高強度、不硬的打底金屬如低合金鋼材打底。接著，可利用較硬的焊接金屬來覆蓋此初始層，以提供焊接時所期望的抗磨損性及韌性。然而，若被焊工具未來會熱處理硬化及回火，由於焊道在熱處理期間很可能會斷裂，所以不應使用此程序。

當母材非常不容易附著時，像是要在鑄鐵上填高，就用打樁下錨或攻線牙等機械力幫助接合。這樣會增加強度並避免在熱影響區可能產生的焊珠底折裂。

在焊接過程中，預熱及鎚打可用來抵消扭曲或變形。使用夾鉗及夾具亦有所幫助。比如說，在焊補整個長剪刀的刀口之前，剪刀可以用相反曲率的夾具夾住以抵銷焊道中發展出收縮應力。若曲率適當，則焊接後之剪刀在釋放時就會是直的。

Postweld Heat Treatment 〈焊後之熱處理〉

焊後，修復過的工具應送回爐內使溫度穩定。後熱能夠使整個工具的溫度在進行任何後續的加熱處理之前變得均勻，藉此降低內應力。表 4.7 中顯示了典型的焊後熱處理溫度。下列所述之焊後加熱處理相當重要，尤其是對於較高合金之工具鋼材。

比如說，這些處理對空氣硬化鋼材的主要問題焊珠底折裂有幫助。通常，焊接已退火的工具在焊後應要再度退火，以降低應力並有助於隨後整修。最理想的情況，就是在焊後及後熱穩定後立即進行此種熱處理程序。

Slow-Cooling 〈緩慢冷卻〉

焊接已硬化而且焊後仍保持該硬化條件的工具，應在焊後以後熱緩慢地冷卻到接近 150°F (65°C)。冷卻速率是非常關鍵的因素因爲這是焊積達到焊後硬度的過程。因此。較快冷卻會產生較高的硬度，然而卻能會在熱影響區斷裂。

Tempering.〈回火〉

回火應在焊後加熱處理及緩冷後立即進行。這樣會緩和在焊接期間所累積的任何應力，有助於防止斷裂並且增加焊積的韌度。修過的工具鋼應該升溫至某一溫度，並依據每一英吋厚度一小時〈2.4 分鐘/mm〉的原則保持此溫度回火。在回火後，工具應被緩慢地冷卻至室溫。

COMPOSITE FABRICATION 〈複合工具〉

對某些應用而言，可在碳鋼或低合金鋼之底材上焊敷一層有某些工具鋼特性的焊積做切割刀緣或工作區塊的複合方式製造工具。圖 4.9 中顯示一個複合工具的實例。

複合工具可製造出有一定水準的工作表面而又有堅韌、抗衝擊的蕊心。另一個優點是可免除硬化的熱處理過程，意味最終可以機械加工或鑽孔。許多工具及模具由於有其固有的硬度，因此容易斷裂。複合工具利用有彈性的蕊心可降低此種問題發生的可能。

有時只用一種工具鋼材來打造模具而又能修整、成形及再鑄造等多樣令人滿意的功能，是不切實際或不可能的事。然而，這卻可藉著特性不同的各種焊接金屬來建造複合模具上的切割或工作區域來達成。

爲了延長現有工具鋼模的壽命，切割刀或工作面可重新用更適合該用途的工具鋼材製造。然而，在設計程序時，一定要考慮之前該工具鋼模的熱處理程序。

Base Metal 〈母材〉

複合工具或模具的母材必須在其所設計的操作溫度下擁有需要的機械性。包括強度、韌性、硬度或任何與這些特性相關的組合。韌性對衝擊負載而言相當重要。硬度則對適當支撐高壓縮負載下工具鋼材的焊接金屬十分重要。

碳鋼及低合金鋼材可適用於大部分用途。然而若工具要在高溫下使用，必須使用在該溫度下具有

耐受性的合金鋼材做母材。低合金母材所需強度及硬度的任何熱處理都應在焊接前先完成。

Filler Metal Selection for Composite Fabrication 〈選擇複合工具之焊條〉

選定的焊條焊積應該具有最適合該工具所做工作類型的特性。這些因素包括抗熱性、抗磨耗性及抗衝擊性和要切割或成型的金屬厚度。

焊條的尺寸取決於要焊接的範圍及選定的準備類型。選擇時也必須考慮母材的稀釋率。

Groove Design 〈溝槽設計〉

複合材料結構可使用許多類型的開 V 槽或形狀備製。圖 4.10 顯示常用的備製類型：比如說開斜角或凹槽、J 型溝槽、U 型溝槽及或平面延伸。除了平面延伸這種類型外，厚度設計應採用既能夠將稀釋率降到最低而且刀緣在加工到所需的尺寸後仍有要的強度。通常最小的使用厚度為 1/8 英吋〈3.2 mm〉。在填充溝槽時應使用兩道或更多的焊道使母材與焊條的稀釋降到最小。在需要大面積填補時，母材表面應備製成具有足夠常用厚度 1/8 英吋〈3.2 mm〉焊積。在將現有之工具鋼材部件變造為複合的工具時，應備製成斜角或 J 型溝槽。刀緣應後退加工或研磨足夠的距離，使完成後之焊積具有足夠的厚度。

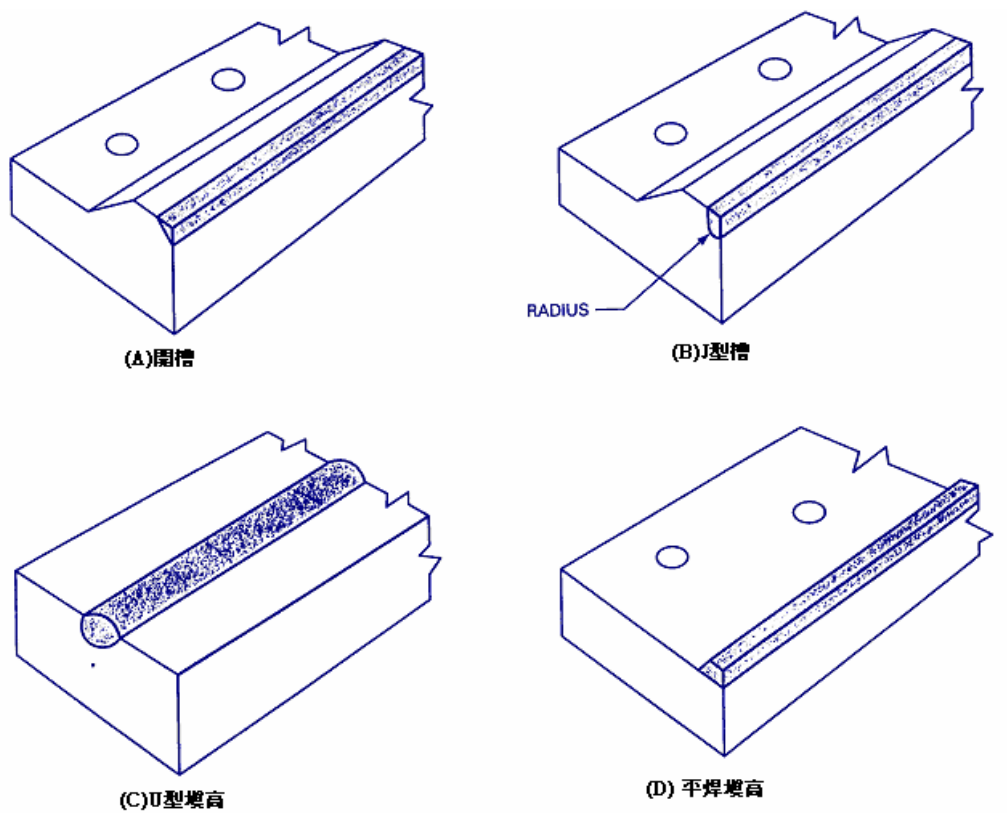


圖 4.10 — 開槽或成型區的備製型態

為預留燒焊扭曲及加工的尺寸，複合工具應比所需尺寸要大。在環狀或圓形的部件上，通常要預留至少 1/8 英吋〈3.2 mm〉來研磨或加工到最終尺寸。對於鑄鐵引伸模及成型模的複合結構而言，要焊敷的刀緣或區域通常要均勻的備製使完成後的焊積至少有 1/8 英吋〈3.2 mm〉的厚度。鎳合金、銅鎳合金或鎳銅焊條可用作工具鋼材焊接金屬的過渡性材料。在備製期間應用過渡金屬作為過渡性的焊道。要這樣做就需要額外移除部份母材增加深度才能達成。

Preheat for Composite Fabrication 〈複合工具的預熱〉

使用低碳鋼或中碳鋼材作為基底時，建議預熱範圍為 200 至 400 °F 〈93 至 204 °C〉。高碳鋼材則需要更高的溫度。小部件可加溫至預熱範圍的下限，而大部件則可被加熱至上限。在使用鎳鉬或鎳鉻合金鋼材時，建議預熱到 600 至 700 °F 〈316 至 371 °C〉。

Welding Procedures 〈焊接程序〉

一般而言，複合工具的焊接程序與那些用來修復現存部件的焊接程序類似。由於複合工具的母材較軟且通常合金含量低，因此其焊接程序〈包含熱輸入〉不像較高合金工具鋼材的焊接程序那麼挑剔。但這並非像在鑄鐵上焊接刀緣或硬面的狀況。對於這些材料而言，必須更加小心以確保接合性良好而焊珠底沒有折裂。

焊敷鑄鐵則可藉由在母材打樁下錨來提升結合力。這樣對大規模的焊接特別有幫助。

POSTWELD HEAT TREATMENT 〈焊後熱處理〉

具有工具鋼材焊積的複合工具部件應在焊接後做後熱處理、冷卻及回火。複合之工具應根據完工後工具所需求的整體硬度做回火。

若使用不能硬化的低合金鋼焊條焊接又期望在某些地方要耐磨損時，建議使用熱處理來緩和應力。

FLASH AND FRICTION WELDING 〈閃光焊與磨擦焊〉

在製造鑽頭、鉸刀及類似工具時，可將高速工具鋼材本體以閃光或磨擦的方式焊接到碳鋼或合金鋼柄。此技術將使刀柄堅韌、有延展性，但材料成本卻低於一體式的刀柄。工具鋼材可在熱處理前及熱處理後藉由閃光或磨擦來加以焊接。硬度只有在相對狹窄的熱影響區改變。在焊接界面快速冷卻會再度硬化金屬〈包含閃光焊接處〉。在焊接前預熱將會降低熱影響區的冷卻速率，使接合處較具延展性，同時斷裂的可能性被降到最低。

BRAZING 〈銅焊〉

BASE METALS 〈母材〉

對於銅焊應用而言，爲了方便起見，將工具鋼材分爲兩大族群：碳鋼材及高速工具鋼材。碳工具鋼材之硬度主要取決於其高碳（0.60 至 1.40%）含量。這些鋼材中可能添加了合金元素，以賦予特殊性能，例如減少熱處理期間的變形、抗磨損性較高、堅韌性較高之及耐高溫性較佳等。由於這些合金鋼材保留了實質的碳含量，但在銅焊時被歸爲碳工具鋼材。除非銅焊較薄的地方，否則碳工具鋼材在熱處理期間必須快速淬火以便在回火後有最佳的特性，。

分開歸類高速工具鋼材是因爲它的特性取決於合金成分的高百分比，例如鎢、鉬、鉻及釩。這些鋼材和某些已提及之合金工具鋼材需要高的奧氏體化溫度。在建立銅焊程序時必須要考慮到這種特性。

FILLER METALS 〈焊條〉

銅焊焊條的選擇取決於要銅焊的工具特性及爲了達到該工具最佳特性所需的熱處理。大多數歸類如銀、銅及銅鋅等的銅焊焊條都可使用。針對每一種特殊應用來決定最佳的焊條。

JOINT DESIGN 〈接口設計〉

一般而言，用對接（butt joints）或搭接（lap joints）來銅焊。當使用含有銀之焊條時，接合空隙應極小但不得小於 0.0015 英吋（0.038 mm）。相反地，若間隙大於所需，則接合強度又幾乎會降到焊條本身的強度。又，降低毛細現象，會使焊條無法完全填滿接口——又再次降低接合強度（見圖 4.11）。

EQUIPMENT 〈設備〉

火炬、爐管及超音波加熱最常用於銅焊工具鋼材。通常決定使用何種加熱方法時主要考慮設備的便利性。

SURFACE PREPARATION 〈表面備製〉

母材表面必須清理到沒有油、氧化物及其他外物的程度，以確保焊條的適當附著及流動性。由於在極平滑的表面上無法讓助焊劑及銅焊用焊條有良好的附著性及流動性，因此已加工過或粗糙之表面總是比拋光過的表面更佳。

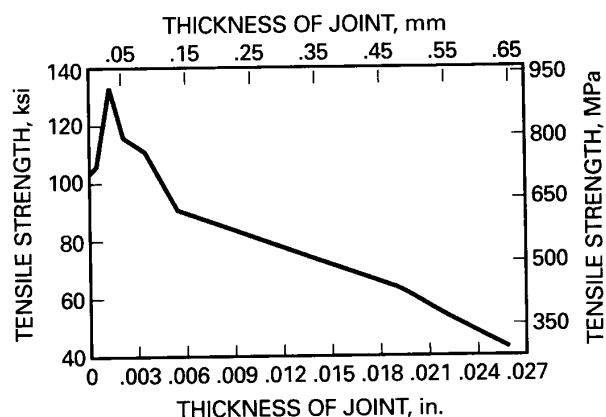


圖 4.11 — 接口大小對拉力強度的影響

FLUXES AND ATMOSPHERES 〈助焊劑及焊接環境〉

一般而言，銅焊工具鋼材時會使用 AWS 之銅焊助焊劑 4A 及 4B。然而對某些工具鋼材及特定的銅焊溫度可能會需要改變助焊劑。

可能要在加熱期間控制大氣環境以防止氧化並避免銅焊後清理操作的需要。若使用大氣環境控制，則必須採取某些步驟以防止工具鋼材碳化或脫碳化。

BRAZING TECHNIQUES 〈銅焊技巧〉

碳工具鋼材最好在硬化操作之前或與硬化操作同時完成的銅焊。碳鋼材的硬化溫度通常介於 1400 至 1500 °F 〈760 至 816°C〉之範圍內。若在硬化熱處理操作前就銅焊，則焊條的凝固溫度必須比硬化熱處理範圍之溫度高，使工具部件在加熱到它的硬化熱處理溫度時，部件會被熱處理但卻不會產生接合處熔化脫落。因此，銅焊條被廣泛使用。然而，銅焊時之銅焊高溫卻可能會對某些鋼材結構有不利的影響。這時就可使用銀及銅鋅焊條，以在 1700 至 1800 °F 〈927 至 982 °C〉的溫度範圍下銅焊。

在又要銅焊又要硬化時，通常會使用略高於奧氏體化溫度就會凝固的焊條。在這種情況下，必須特別注意接口設計與相關組件間的關係，因為鋼材在奧氏體化溫度下的接合強度非常低。在淬火期間所產生的應力會使銅焊接口處於壓擠而非拉緊的狀態。

合金工具鋼材之銅焊技巧取決於對該特定鋼材的認知。合金工具鋼材的成分組合很廣泛，因此對加熱的反應廣泛的不同。應該仔細地研究要銅焊的工具鋼材，以決定它的適當熱處理循環、淬火媒介、最好的銅焊焊條，並適當的結合熱處理與銅焊操作技巧以達到最佳效果。

一個銅焊件在淬火時溫度可能會急劇下降，而一致膨脹及收縮的銅焊接口會導致破裂。一開始，奧氏體鋼材會隨著溫度下降而收縮。接著，在轉變成麻田散體時，鋼材又會膨脹。最後，麻田散體鋼材隨著溫度的持續下降而收縮。由於是從表面開始冷卻，因此這些改變並非均勻的發生。如果在淬火期間可適當的支撐組件，則可使用凝固溫度低於奧氏體化溫度的焊條。

高速工具鋼材的硬化處理溫度高於常用的銀質銅焊溫度。因此，通常在銅焊前就硬化鋼材，然後在第二次回火期間或之後銅焊。回火通常在 1000 至 1200 °F 〈538 至 649 °C〉之溫度範圍內施行。若使用短的銅焊循環，則可在高於 1150 °F 〈566 °C〉之溫度下使用 BAg-1 或 BAg-la 等銅焊焊條。已硬化的之高速工具鋼材可以此方式銅焊而不會過度的回火。

已斷裂的高速鋼工具可用銅焊修復。這可避免因等待替代工具而延誤生產。鑿子、環形鋸及銑刀等

是可藉銅焊挽救的工具實例。

APPLICATIONS 〈應用〉

REPAIR OF DIE-CASTING DIES 〈鑄模模具之修復〉

現代的鑄模工業仰賴焊接技術來延長模具的壽命並減少停工時間。此方式 鑄模業者在競爭激烈的市場上藉此降低預鑄成本、變得更有競爭力，因而增加利潤。

Background 〈背景〉

模具鑄造或壓力鑄造工法有幾項勝過其他製造工法的優點。模具鑄造廠可將複雜的形狀製造成接近完工的尺寸。鑄造的壁可以較薄，降低金屬成本。同時模具若有複數的腔體，就可以增加製造速率並改善表面品質。然而，模具必須小心地維護，才能完全發揮上述的優點，因此焊接是任何模具維修程序中所不可或缺的。

模具的材料通常會裸露在極度的熱疲勞並受到液態金屬的侵蝕。由各種熱作工具鋼材所製成的模具必須要克服這些不利的環境。模具鑄造業中最常用的工具鋼材為 AISI H-13，淬火及回火至 46-48 HRC。

Restoration Procedure 〈修復程序〉

以下敘述一組氣動馬達外殼鑄鋁模具的修復程序。模具原本由 AISI H-13 工具鋼材製成，淬火並經回火到 46-48 HRC。整個模具包括一個如圖 4.12 所示的擠壓模及滑件，和如圖 4.13 中所示的相關罩蓋模具。

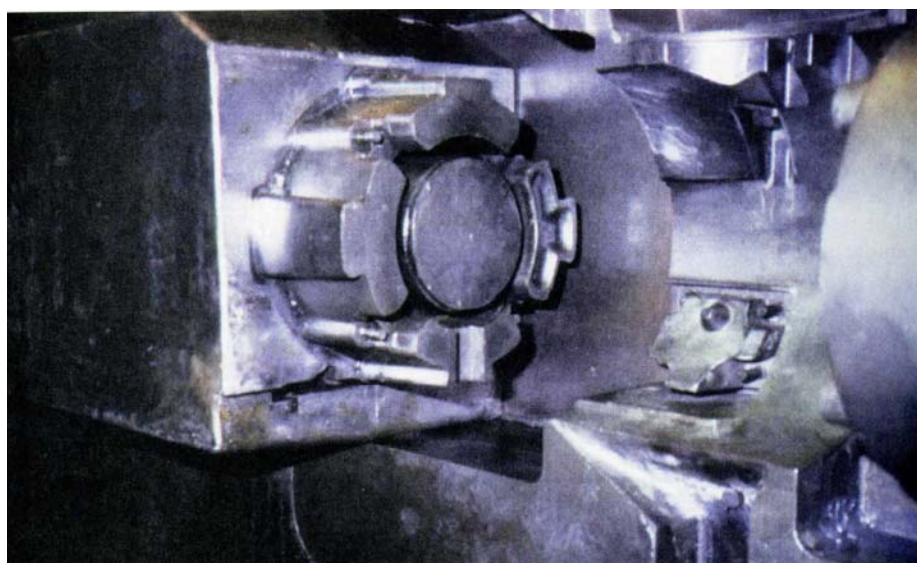


圖 4.12 — 氣動馬達殼擠壓模及滑件

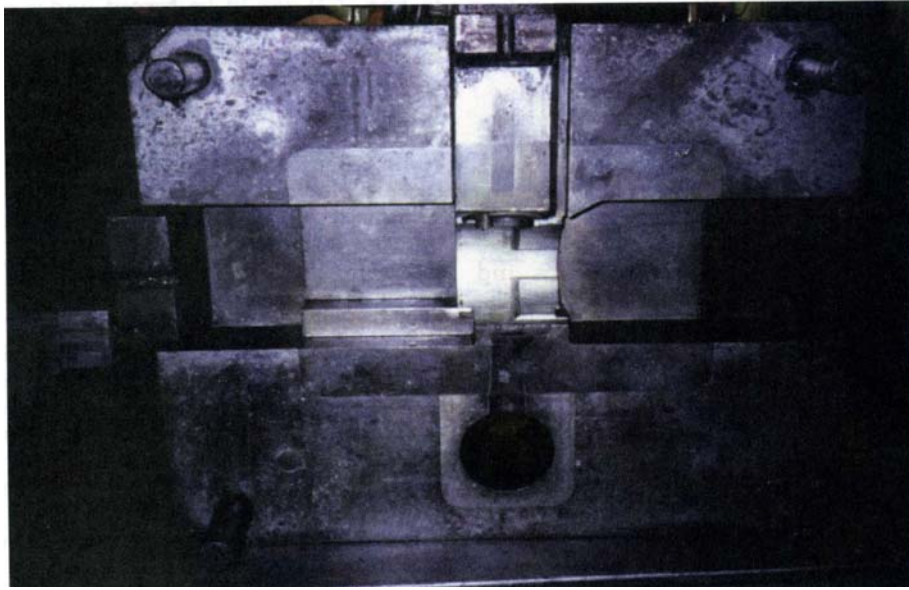
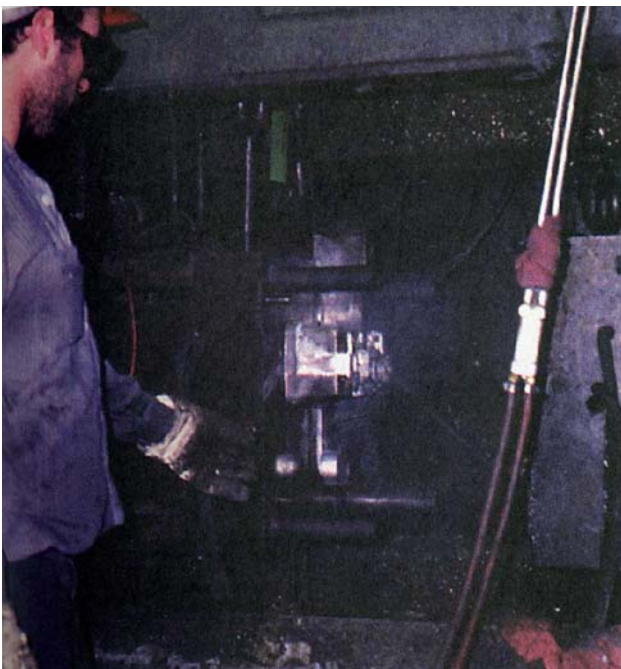


圖 4.13 — 氣動馬達殼的罩蓋模

隨著滑座先固定後，接著接合罩蓋模具的半部與擠壓模的半部並鎖至定位。以極大的壓力將已熔化之金屬[1190 至 1230 °F (643 至 666 °C)]以高速注射入模具。注入之熔融金屬可行經澆道並隨著繞注分散器改向，使其流入滑槽並進入模具腔。滑槽及閘門之系統可引導金屬流進模具腔，確保完全填滿。冷卻水流經模具塊中之管道以避免過熱。在鑄造物凝固後，抽回滑槽、打開罩蓋模具並取出鑄造物。圖 4.14 顯示自模具取出之馬達外殼的鑄造物。在取出鑄造物後，就用冷卻水噴塗在模具表面上以更進一步冷卻半副模具。



快速的加熱及冷卻循環會導致熱疲乏或熱裂紋。熱裂紋短期會造成不良的射出或黏著，以及鑄造物的表面缺陷。如果沒有修補，熱裂紋就會產生嚴重的斷裂或使模具破損而無法修復。模具的鑄造程序亦使得模具的複雜結構及閘門系統受到嚴重的液體金屬腐蝕或模具沖蝕。模具沖蝕使得模具失去尺寸的寬容值，鑄造出來的東西不能用。

模具的熱裂紋及沖蝕部分可用馬氏體時效鋼 18Ni (250)，以氣體鎢電弧焊 (氬焊) 成功地修復。選擇馬氏體時效鋼 18Ni (250) 是因為馬氏體時效鋼對熱疲乏及液體金屬腐蝕兩者皆有阻抗能力。表 4.8 顯示了馬氏體時效鋼 18Ni (250) 焊接沈積物的組成，而表 4.9 則顯示其機械特性。

焊接時，馬氏體時效鋼 18Ni < 250 > 焊接沈積物可熱處理且焊積通常在 30 至 32 HRC 的傳統可加工範圍內。焊積更可在 950 °F < 510 °C > 下時效硬化，最高達到 49 HRC 的硬度。馬氏體時效鋼 18Ni < 250 > 焊積的強度特別高，堅韌度也高。就像所有的工具及模具焊接，都必須依循適當的焊接程序來達到最佳的效果。

要焊接的模具鋼材需要用研磨、移除所有的雜質及金屬缺陷。爲了確保未來的模具工作表面有未經稀釋馬氏體焊積，在母材下方要切割出足以輔助至少三層焊接金屬的 1/8 至 5/32 英吋 < 3.2 至 4.0 mm > 割口。接著根據母材 AISI H-13 將模具預熱至 900 °F < 482 °C >。使用氬焊處理來沈積馬氏體時效鋼 18Ni < 250 >。以 15 至 20 英尺³/小時 < 7 至 9 L/分鐘 > 的流量分散氬保護氣體，使用直流電負極。施加短縱桁型焊珠 3 至 4 英吋 < 76 至 101 mm >。在每一焊道後完全地鎚打焊積以抵銷收縮應力。在焊接期間，將層間溫度維持在預熱溫度的±100 °F < ±56 °C >。在焊接後，讓模具緩慢地冷卻至室溫，接著以傳統方式對其加工。在加工後，在 925 °F < 496 °C > 下讓模具經時效硬化約兩小時，以達到 46 至 49 HRC。

鑄造模具業者遇到模具損壞時，就會面臨下列抉擇：是要開一組新的模具或由焊接修復已損壞的模具。在這種情況下，新的模具非常昂貴，且會花幾個禮拜時間才能完成。使用馬氏體時效鋼 18Ni < 250 > 的平均焊接修復可在兩天內完成。這種包含了加工的修復方式僅需花費小額新模具的成本。

使用馬氏體時效鋼焊接修復的其他優點爲：

- < 1 > 可快速的回復模具功能減少備用模具組的需求。
- < 2 > 小型修復可不需自工作點卸除模具組即可施行。
- < 3 > 可利用局部加熱處理 < 以火炬 > 或在工作時時效硬化焊積。

REPAIR OF FORGING DIES < 鍛造模具之修復 >

Background < 背景 >

建造鍛造模具所使用的低合金鋼材及工具鋼材非常廣泛，但最常用的爲類似於 AISI 型 4350 或 AISI 型 H-13 的低合金鋼材。鍛造工業主要使用兩種熱鍛造處理：開放式模具及閉鎖式模具。開放式模具是在不完全限制金屬流動的情況下形成金屬工件。而閉鎖式模具則完全包圍正在鍛造的熱鋼材，以得到高度精密的尺寸。

除了工法外，主要使用兩種設備來製造鍛造物，就是壓榨機及鎚具。壓榨機將熱鋼材擠壓成形，而鎚具則擊打熱鋼材成形。在許多案例中，使用三套模具組即可完成鍛造，各別稱爲堵口模具、塊形模具及終鍛模具。首先，將已加熱之鋼材銑條 < 待鍛造之金屬 > 加熱至 2100 至 2300 °F < 1149 至 1260 °C >。接著其經由三組模具持續的壓製而轉變，將其鍛造成最終的形狀。

在成形期間，模具鋼材會受到不利環境的影響，包含磨耗、衝擊、高機械負載及極度的熱疲乏。在這些不利工作條件的打擊下，鍛造業常發生模具故障。形成熱裂紋、磨損、斷裂及形變。因為模具製造成本不斷增加，因此修復焊接再生已失去承受度或表面品質的鍛造模具工法變成非常有價值。現代許多鍛造業者大量地依賴焊接沈積來恢復其鍛造作表面的功用。

在業界洪焊〈flood welding〉鍛造模具已證實是提供高品質的焊積並結合快速焊積率極有用的一種方法。洪焊是先移除磨損的凹穴並以熔融的焊接金屬在快達 30 磅/小時〈14 公斤/小時〉的沈積率下將凹陷填高。洪焊並非是一種特別的焊接工法，它只是一種用大尺寸電焊條的高沉積電焊工法的特別應用。電焊焊條的直徑可上至 0.75 英吋〈19 mm〉。助焊劑焊芯焊條的直徑可上至 0.156 英吋〈4 mm〉。

圖 4.15 顯示了洪焊之操控配件，其包含焊條饋送系統及水冷氣體卸除槍。此操控配件在預熱大型模具時及焊接產生之過量熱時設計用來支撐所移出的焊件。



圖 4.15 — 用洪焊修理模具的操縱設備

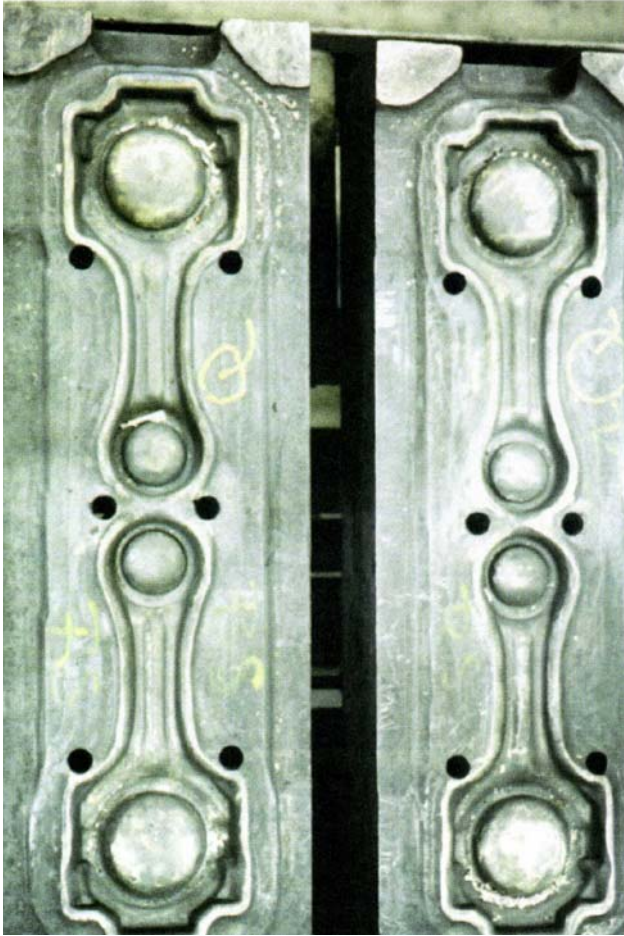


圖 4.16 — 用於鍛造汽車連桿的模具

Procedure for Forging-Die Reclamation (鍛造模具之再生程序)

現在敘述使用洪焊再生鍛造模具的程序。要再生的模具是一套用來鍛造汽車連桿的熱壓閉鎖式終鍛模具。模具原本是以類似於 AISI 型 4350 的中碳、低合金鋼製造。如圖 4.16 中所示，壓模由上部及下部兩塊壓盤構成，使兩根連桿可一次鍛造完成。

這些模具已充分使用，直到連接桿的公差及外觀品質超出規範為止。連桿下面壓穴的輪幅斷裂並使上面的壓穴延伸出熱裂紋及磨損。再生從預熱開始，先在對流爐中將模具預熱至 1000 °F (538 °C)。接著用空氣壓縮碳棒，用 5/8 英吋 (16 mm) 的焊條以 1000 安培的電流開槽。在圖 4.17 顯示開槽結果。

削除的穴深是壓穴底部下方約 3/8 至 1/2 英吋 (10 至 13 mm)。要削得那麼深是因為要確保焊積不會稀釋並使將熱影響區域落在不重要的區域中。接著，利用兩種化學性質不同之焊條來洪焊壓製模。表 4.10 顯示材質的成分和熱處理與硬度數據。表 4.11 顯示測試所得的焊積機械特性。

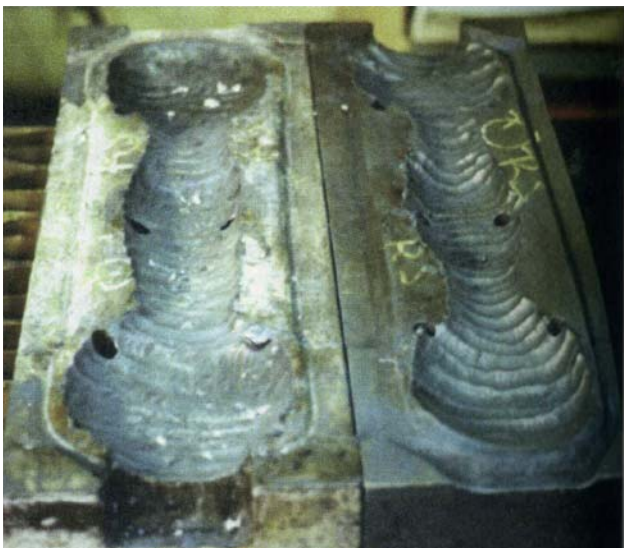


圖 4.17 — 用氣壓碳棒開槽除去鍛造模塊的壓痕

在找出斷裂的凹穴下方，用堅韌的優質麻田散體不銹鋼焊條。在斷裂及磨損的上凹穴中，用類似於 AISI 型 H-12 的熱作工具鋼材焊條。使用 1/8 英吋 (3.2 mm) 之助焊劑合金芯焊條及在 75% 氬及 25% 二氧化碳 50 ft/h (24 L/min) 保護氣體流量下進行焊接。在 32 伏特電壓時電流為 700 安培。在焊接時，模塊用陶毯覆蓋，以維持最低 800 °F (427 °C) 的層間溫度。接著以氣動鎚 [1/2 英吋 (13 mm) 鈍鑿] 來鎚打焊積，以降低收縮應力。焊後，將模具加熱至 1000 °F (538 °C) 以均勻熱度。接著讓模具在室溫下的靜止空氣中緩慢冷卻，使焊積能充分在空氣中硬化。兩個模具共使用兩種合計 160 磅 (73 公斤) 的焊條焊接。接著，讓焊接過的模具在 1025 °F

〈552 °C〉下進行雙回火。整個修復程序包括雙回火花四天，真正的燒焊僅花一天的時間。

表 4.10 復原鍛造模所用的材料表

成分									熱	硬度
碳	錳	矽	鉻	鉬	鎳	鎢	釩	鐵	處理	HRC
原始模塊										
0.55	0.385	0.25	1.0	0.40	1.0	—	—	餘額	1600°F(871°C)沃斯田化後，以油淬火硬化，再以 1120°F(605°C)回火	37-40 ^b
上模區填料焊條成分										
0.35	0.40	1.0	5.50	1.50		1.80	0.30	餘額	在 1025°F(552°C)雙回火一小時	50-56 ^c 50-55 ^b
下模區填料焊條成分										
0.20	0.40	0.40	10.50	2.0	2.0	—	—	餘額	在 1025°F(552°C)雙回火一小時	44-48 ^c 41-45 ^b

b. 回火硬度

c. 焊後硬度

表 4.11 復原鍛造模填料焊條的機械特性

拉力強度 ^b		降伏強度		延伸率	區域還原	查比衝擊值 ^c	
ksi	Mpa	ksi	Mpa	%	%	Ft-lb	J
上模區填料焊條成分							
183	1262	160	1103	2.0	5.0	—	—
下模區填料焊條成分							
166	1144	129	889	9.6	30.5	20.7	28.1

圖 4.18 顯示了雙回火完成後之鍛造模具。模具在線切割及研磨後，就放回去鍛造連桿。再生工法使模具的壽命增加了約 50%。

由於鍛造公司不同，有許多變數會影響結果，因此
在其他情況個別結果會改變。主要的變數是：

- 〈1〉 模具設計的類型
- 〈2〉 機械的負載
- 〈3〉 所使用之鍛造設備類型及設備品質



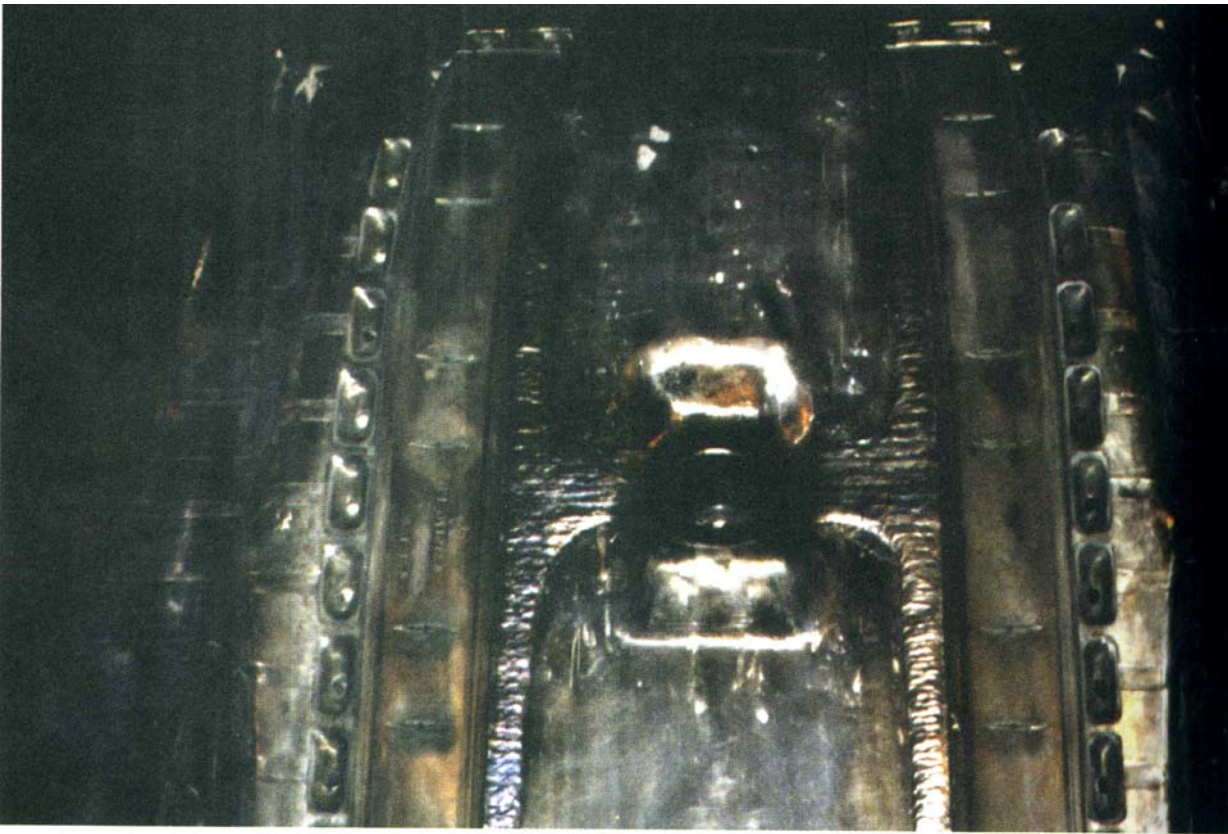
- 〈4〉 在燒焊前的模具預熱溫度
- 〈5〉 工作時模具使用的潤滑劑及冷卻劑

REPAIR OF AISI P20 AND D2 TOOLING

圖 4.18 — 焊過並雙回火後的鍛造模

〈 AISI P20 及 D2 工具之修復 〉

此章節的論點可用在修復 AISI P20 或 AISI D2 工具鋼材之工具、模具及鑄模上。圖 4.19 顯示車身模具鑄造實例。



必須嚴格遵守完善的焊接程序以避免廣泛的潛在麻煩。焊接前，必須對損壞的部位仔細的觀察。在某些情況下，可能需要使用探傷劑或更複雜的方法。最先觀察到的損壞通常是整個區域內之其他問題的警訊。硬度檢測通常可以有助於顯示有問題的部位。

Preparation 〈備製〉

必須完全向下移除斷裂部位直到完好的金屬為止。至少要移除整個工作面下方 3/16 英吋 〈5 mm〉 以獲得潔淨的表面。假如損壞的很嚴重，必須夾住各個片段並用具有高抗拉強度的適當焊條點焊。

Preheat 〈預熱〉

工件必須在控制且小心的方式下預熱到所需的溫度。表 4.12 顯示 AISI-P20 及 AISI-D2 工具鋼材的預熱溫度及其他的焊接維修參數值。在某些情況下，預熱需要大型且複雜的設備。然而，不論那種狀況，預熱不是僅僅簡單地用火炬來加熱工件。必須要充分的讓工件在預熱溫度下安定。

Welding Processes (焊接處理)

電焊為廣泛且常用的焊接，但層間溫度的控制可能會是麻煩。若加以比較，在工件加工及細微的修復時，用氬焊及 CO₂ 焊的控制較佳。

Peenig (鎚打)

在理想狀況下，鎚打應立即在轉變至麻田散體之前及期中進行。此動作能緩和變態應力，而變態應力通常會超過材料的降伏強度。這些應力亦相當微妙，在後續製造中，很容易就會出現肉眼看不到或者使修復焊接不成功的細微裂痕。建議最縱橫型焊道長度不要超過 3 英吋 (75 mm)。同時縱橫型焊道紅熱時不應鎚打。

Postheat (焊接熱後處理)

焊後加熱是焊接工具鋼材時必須的工作。在焊後必須立刻使工件溫度均勻，以緩和殘餘應力。如表 4.12 中所示，焊後加熱與預熱通常相同。必須在受控制的狀況下冷卻。工件應覆蓋，以避免冷卻不均勻。在回火前溫度不應低於 150 至 200 °F (66 至 93 °C)。

Tempering (回火)

通常工具及模具鋼材在焊後需要回火。回火的溫度不應超過該工件的原始回火溫度。回火能在焊積及熱影響區中更進一步減少麻田散體的變態應力。

表 4.12 工具及模具鋼材之焊接修復用的某些參數值

鋼材	預熱及焊接後熱處理溫度		焊條	回火溫度	
	°F	°C		°F	°C
AISI-P20	950	510	P20	950-1000	510-538
AISI-D2	900	482	M2/H19	900-950	482-510