

## 結構用鋼材特性與電焊品質之探討

林 隆 寬

水利技師

葉 旭 璽

水利技師

### 摘 要

鋼結構是用鋼材組成構件單元，到工地現場再吊裝成整體結構。構件的組成及現場吊裝，主要是透過電焊及螺栓的結合，而電焊在整個過程中佔最重要的地位，電焊品質的良窳除受電焊本身相當多的影響外，也受鋼材材質的影響，電焊的過程又會使鋼材材質產生變化，因此鋼材與電焊兩者關係密切，如何將兩者互相影響減至最少，有賴於對鋼材與電焊關係進一度探討，期使製造出來的結構能達到設計的要求，發揮鋼結構質輕、耐震、安全的特性。

### 一、前言

本文探討是從鋼材的煉鐵、煉鋼、軋延過程，生產不同用途之鋼材以及對這些鋼材之特性做一簡要的介紹與說明。在提到影響電焊品質主要因素，鋼材的含碳量問題可焊性，接著介紹電焊的基本原理及過程的一些需求原因，鋼材一些特性與電焊的影響，施工規範上一些規定的意義，電焊品質問題如何檢測，最後談到為因應電焊品質有關高效率焊機及鋼材之發展趨勢，以及結語。

### 二、煉鐵、煉鋼與軋鋼

鋼材從原料到使用成品要經過許多製造過程，一般可分為煉鐵、煉鋼及軋鋼等冶鍊及加工流程(如圖 2-1)。

#### 2.1 煉鐵：

煉鐵係高溫下藉焦炭將鐵礦石( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ 、 $\text{Fe}_2\text{O}_3$ 、 $\text{Fe}_2\text{O}_3$ 、 $\text{H}_2\text{O}$ )的鐵還原出來，亦藉助溶劑  $\text{CaCO}_3$ 、 $\text{MgCO}_3$  能和鐵礦中的不純物或焦炭作用，形成爐渣(slag)，浮於鐵水上方，使鐵水能分離，而進入下一煉鋼流程。

#### 2.2 煉鋼：

由煉鐵階段所煉出之生鐵，含有大量的 C、Si、M、P、S 等不純物，不宜使用加工，須將生鐵精煉而得到較純之鋼，進入此作業即稱煉鋼。主要係將氧

氣吹送入轉爐中，將鐵水中高含量的碳、矽、磷、硫等雜質氧化去除，並經精煉處理，添加合金或微合金元素(Cu、Cr、Ni、Nb、V、Mo、Tr、Ti)提高鋼材品質，再注入模內形成鋼錠。鋼錠有扁鋼胚(Slab)、鋼棒(Billet)、鋼塊(Bloom)(如圖 2-2)，視往後加工需要而選用。

#### 2.3 軋鋼：

鋼板或型鋼係由前階段之扁鋼胚或鋼塊經再加熱及軋延做等等製程的產品，鋼胚再加熱到  $1000\sim 1200^{\circ}\text{C}$ ，停留一段時間，使鋼胚內雜質擴散，均勻分布以改善偏析現象。且經軋延可改善氣孔，中心線裂、晶粒再結晶，晶粒細化且均勻，提升鋼材韌性。經過前處理後，軋成各種品質強度、特性等規格尺寸的鋼材(圖 2-3)。

## 三、結構鋼材之分類及特性

#### 3.1 依強度分：

可歸類為一般結構用鋼，最常用者為 SS400(如表 3-1)、A36(表 3-2)，其降伏  $f_y$  約在  $24\text{kgf/mm}^2$  左右，高強度結構用鋼，如 A572Gr50(表 3-3)、SM490(表 3-4)， $f_y$  約在  $35.2\text{kgf/mm}^2$ 。

#### 3.2 依特殊用途分：

- (1) 熔接結構用鋼：4JIS SM400(A、B、C)，其中 M 即表示 MELT，ASTM 系統之 A709G50W，其中 W 即表示 Welding。
- (2) 耐候性結構用鋼：其成份中皆含銅以阻止銹蝕進行。JIS 之 SMA50(ABC)(表 3-5)，其中 A 字即表示耐候，而 ASTM 系統則 A588(表 3-6)為代表。至於耐候性鋼亦僅表示其抗腐蝕能力為一般結構碳鋼至少 2 倍以上，並非表示不會腐蝕。中鋼大禮堂屋頂外圍四支大樑即採用 A588 鋼材，且表面未油漆處理，中鋼以此做為表示其產製能力。
- (3) 橋樑結構用鋼：即最近幾年國內廣泛採用的 A709Gr50(表 3-7)。
- (4) 建築結構用軋延鋼材：日本 1993 年頒布，以 SN 系列為標記，特別要求低降伏比及低碳量，以提高建築的耐震性(表 3-8)。

#### 3.3 共同特性：

結構用碳鋼，有一共同特性抗拉強度，降伏強度，硬度都隨碳含量增加而增加；但伸長率、斷面縮率及衝擊值則相反，即碳含量雖多，韌性指標愈低(如圖 3-1)。但碳含量愈高，則對電焊愈不利，雖然前節提到融接性結構用鋼，

僅表示可焊性較佳而已，並不表示可忽略電焊過程的應注意要項。

#### 四、鋼材之含碳量與可焊性

##### 4.1 鋼材依含碳量來分：

可分為低碳鋼(0.0-0.25%碳)，中碳鋼(0.25-0.55%碳)、高碳鋼(0.55以上)。一般結構用鋼材，其含碳量接控制在0.12%-0.3%之間。一般鋼材強度愈高，含碳量也高，早期(1960年以前)沒有微合金添加之理念，也無控制軋延的技術，強度上完全依賴碳與合金元素。

##### 4.2 鋼材之可焊性：

可焊性是一種比較名詞，使指兩種不同鋼材，分別用同樣的焊接材料，同樣的焊接方法，同樣的焊工來施焊，其結果其中一種鋼材會產生電焊缺陷如龜裂，這時我們就會說產生缺陷的鋼材，具有不良的焊接性。一般皆以碳量(C. eq)來判定，其式為

$$C_{eq}(\%) = C + \frac{Mn}{6} + \frac{Si}{24} + \frac{Ni}{40} + \frac{Cr}{5} + \frac{Mo}{4} + \frac{U}{14} (\%) \quad (JISG3106)$$

$$C_{eq}(\%) = C + \frac{Mn+Si}{6} + \frac{Cr+Mo+V}{5} + \frac{Ni+Cu}{15} (\%) \quad AWS$$

由式中可知碳量影響最大，碳量愈高，焊接性愈差，但生產的製程，一方面要提高鋼的強度，一方面又要降低碳當量。例如50kg/mm<sup>2</sup>等級之鋼板，由1960年代的0.5%到1980年代降到0.33%左右的水準(圖4-1)，亦由碳當量的降低，鋼結構才能由早期的铆釘接合代，進步到目前的焊接時代。

### 五、電焊原理，焊材與母材(鋼材)

#### 5.1 電焊原理：

電焊是利用高電流低電壓在空中放電產生電弧(ARC)之高熱量(2500° C)將欲連接成一體之兩塊鋼板融化(1250° C)後，經冷卻溶合成一體。碳在電焊過程中，電焊部位是由固體融化成半流體，再冷卻為固體之現象，如脫氧精煉，及添加適當的合金元素，溫度的緩慢冷卻皆相一致。

#### 5.2 焊材：

焊材係指產生電弧高熱之金屬線與冶鍊過程控制溫度冷卻速度使用之焊藥，其主要功能在提供：

- (1)產生高熱量。
- (2)提供與母材同強度或更高之溶合材料。
- (3)產生惰性氣體阻絕電焊處與空氣之接觸。
- (4)讓電焊處緩慢冷卻。
- (5)產生剝離性良好之焊渣，使焊皆部位外表美觀。
- (6)對熔積金屬的脫氧精煉及添加適當的合金元素。

電焊金屬線又稱熔積金屬，其主要成份除含有碳、矽、磷、硫外，同樣含有錳、銅、鈷、鉻、鎳、鉬、鎢、鈇等，與一般鋼材之成份幾無二致。但並非熔積金屬的成份皆相同，而視焊材廠家及規範的要求略有不同。

### 六、母材(鋼材)之預熱及後熱

#### 6.1 預熱之原因

焊接本身即為高熱量輸入，由於鋼材對高溫及不同冷卻速度下會產生變質(圖 6-1、6-2、6-3)，此範圍稱為焊接熱影響區(heat-affected zone)冷卻速度相當快，如不適當的緩慢冷卻會形成變硬及變脆之材質(如圖 6-4)。此外入影響區也可能出現析出或粗化現象，使材質變差(圖 6-5)，甚或產生內部的氫氣無法溢出之裂痕(圖 6-6)。

#### 6.2 預熱之溫度：

預熱之應用，主要使用在厚鋼板之焊接，因其散熱的速度係多方向性且整個吸入質量也比薄板來的高(圖 6-7)，預熱溫度除可由圖解計算外，一般皆依AWS 規範規定。(表 6-1)

#### 6.3 後熱：

是指厚板焊接時，為避免溫度快速冷卻，而產生缺陷，除預熱外，另在焊接處以防熱氈覆蓋使其緩慢冷卻。

## 七、鋼材之瑕疵與電焊品質

這裡所謂鋼材之瑕疵是指鋼材在整個冶煉過程固有的特性，如港版強度與厚度關係，鋼板強度、伸長率在軋延方向與垂直向並不一致，鋼板伸長率在厚度方向亦差，鋼材較厚材質亦不同，結晶層裡等等皆反映在電焊品質的良窳上。

### 7.1 巨型型鋼及厚板內部夾層(Lamina)問題：

在成形軋延過程，因巨型型鋼(AISC G4 G5)及厚板(超過 19mm)，因軋延程度次數較低，無法使內部存在雜質均質化及晶粒細化且均勻，而產生內部之夾層及偏析，晶粒粗化的現象(圖 7-1)。在電焊上有此瑕疵，則焊接熱量會造成內部撕裂(Tearing)及龜裂(圖 7-2)，嚴重者可能在切割就發生，而此種裂縫大部分無法補救，最終常常只有全部更換材料一途。而且如果沒有事前發現，則對整個結構體的安全構成威脅。因此在規範上皆要求板厚超過 19mm 之鋼板應做夾層超音波檢驗。

### 7.2 鋼材為結構組織：

鋼材的微結構成一種層狀結構，且在鋼厚度這方向其延展性較在軋延平面較差，因此一般焊接在板厚方向容易造成角隔電焊熱量收縮而造成拉裂現象(圖 7-3)。此現象可以改變接合方式處理之。為實際因考慮加工費用，而未能執行，此為理論與實際的落差。

### 7.3 鋼材其他雜質問題：

如材質內部雜質嚴重，材質均質性亦差，在火焰切割厚，即產生扭曲變形，根本無法整型加工使用而予以廢棄。此類案子以東歐地區生產之鋼板且未經適當的檢驗產品居多。

## 八、鋼材之特性及在施工時要點

### 8.1 鋼材軋延方向特性：

鋼板在軋延方向之伸長率較垂直方向為大，亦即展延性較佳(圖 8-1)，衝擊質相差更達 50%，因此一般在工程規範上皆特別要求鋼材的取材要與主應力方向一致，在主體結構上較無問題，但在接合板上(圖 8-2)，則容易被疏忽，因接合板小，取材不一定從長材上取下，更何況製造施工人員更無此觀念，故實際狀況與施工規範有相當的差距。

#### 8-2 鋼厚愈薄，強度愈強：

這是指一種鋼材，因厚度不同其強度亦不同，如 JIESS400，厚度 16mm 以下  $F_y=24.5(\text{kgf}/\text{mm}^2)$ ，16mm~40mm 為  $F_y=23.5(\text{kgf}/\text{mm}^2)$ ，40mm 以上  $F_y=21.5(\text{kgf}/\text{mm}^2)$ 。這個現象是由於鋼材之軋延時，將鋼材均質化，而薄板軋延次數較多，可得較質密及細晶之結果，故強度較高。在這一性質上，常誤導用在同等品質上，一般設計圖上常註明可使用同等品材料，而以 SS400 等同 A36 是有問題的，A36 不管厚度多少  $F_y$  皆為  $25.0\text{kgf}/\text{mm}^2$ ，如說 SS400 與 A36 為同一級則尚可接受，在 16mm 厚度以下相差無幾，但 16mm 以上則顯不同，在使用上不可不慎。

#### 8.3 鋼板厚度與最小焊接腳長及最小有效焊喉：

前已述及焊接是一種高熱量輸入鋼板，產生融化冷卻後接合現象，這就涉及熱量的輸入是否不足與超過，前節討論過高熱量輸入，在厚板的情況，電焊部位產生急速冷卻，會造成電焊處內部的裂縫發生，同樣的道理，一旦輸入的熱量不足，並不足以融合鋼材，也造成融合不足現象，也是電焊瑕疵之一種，為避免類似狀況，AISC(AWS)規範特別規定，在角焊及部分滲透的場合，應視兩接合板之厚度關係決定所需最小焊道尺寸，規定每一道焊接角長之最小尺寸(表 8-1 8-1)，這個規定一般常被疏忽，實有待廣為教育。

## 九、殘留應力與熱整型

#### 9.1 殘留應力：

鋼材經過熱量的輸入及冷卻的過程，因為不均勻的熱漲冷縮，而造成殘留應力與變形，此現象不僅在高熱量電焊會發生，即使在鐵鋼軋鋼的過程，亦因冷卻不均勻，而形成殘留應力(圖 9-1)。電焊因係局部輸入熱量，故殘留應力一般比煉鋼過程來的大(圖 9-2)。殘留應力的消除，可以機械方式或加入消除法，盡量降低之。

#### 9.2 熱整型：

鋼材經過電焊或切割後，因電焊部位之熱脹冷縮而產生變形，跟殘留應力一樣，此為鋼材一種必然現象。變形後要經過適當的整型，才能符合尺寸的要求，一般整型除用機械方式強制變形整型外，另一方法為利用熱量的再輸入，同樣利用熱脹冷縮的原理，予以矯正整型到符合規範的尺寸，除電焊變形的整型外，另一需要整型的部分是構件需要適當的彎曲或預拱時。但在整個熱整過

程，溫度的控制相當重要，溫度控制不當，則材質產生硬脆變，因此一班規範規定在不能超過  $650^{\circ}\text{C}$ ，因為超過  $723^{\circ}\text{C}$  時，剛才已經產生質變(圖 6-1)，但一般鋼構廠欠缺這方面的知識，為快速達到整型的目的，不但溫度未予控制且還澆水及速冷卻整型部位，實有待改進。

## 十、鋼材及焊道品質檢測方式

### 10.1 鋼材的品管：

鋼板厚度尺寸及平坦度的品管是藉由各種不同的量測儀器，依規範做確實的量測，有關材質的部份應經由比對煉鋼爐號及材質證明確認，並再經抽樣送請相關機構進行化學性質及機械性質的檢驗，至於抽樣的數量則根據相關規定，目前並無一套統一的標準，視業主的解釋而定，實有待改進。鋼材取樣的位置規範有相關的規定，唯共同的要求則是取樣的方向，應與軋延方向一致，在規範上所指之機械性質皆指為軋延方向性質。

鋼材另一品管為顏色管理，所有鋼材不論高強度、低強度、耐候鈹，其外觀都一樣，未免在製造過程中誤用，皆採顏色管理，小塊鋼板更應註明軋延方向與材質。

### 10.2 電焊一般品管：

一般品管是藉由各種量規，依規範確實量測，電焊品管重點在鋼鈹開槽角度、組合間隙、焊道角長、直角度、拱度、平坦度以及電焊候的變形度，是否需熱整、熱整溫度的控制等皆屬之，另外，也含目視檢測初期焊道之外觀缺陷、清潔度、焊渣的清除等。

### 10.3 非破壞檢驗：

10.3.1 放射線檢測(RT)(圖 10-1)：利用放射性元素之輻射線可穿透鋼鈹之原理，並置底片於鋼鈹底部，照出鋼鈹焊接處缺陷的方法，底片上經顯影並經專業判片可檢測出缺陷位置、深度、大小等，並留有底片紀錄。由於人員機器設備接受管制及放射線的危害，一般皆使用在重要結構物，尤其橋樑結構之焊道全滲透檢查。

10.3.2 超音波檢測(圖 10-2)：利用超音波可穿透鋼鈹，且穿過不同介質時即產生反射波之原理，以檢測鋼鈹表面及內部電焊缺陷，缺陷位置、深度及大小等，因儀器輕，設備簡單，操作方便，故最廣為採用做全滲透焊皆之檢查，及軋鋼出廠鋼鈹夾層的檢查。

10.3.3 滲透液檢測(PT)(圖 10-3)：利用液體可滲透裂縫之原理，經滲透後再以不同顏色滲透液(一般為紅色)噴其表面，而顯現電焊之缺陷處，設備操作簡單，此項檢測僅能檢測表面缺陷。一般應用於組合型鋼之角焊檢查。

10.3.4 磁粉探傷檢測(MT)(圖 10-4)：利用正負極間產生磁場，在磁場磁粉磁力線經變異材質時，磁力線會出現彎折扭曲之線型，而判定其缺陷，可檢測出接近於表面之缺陷。

## 十一、 高效率電焊機及焊接鋼板之發展

### 11.1 焊接效率的提高：

焊接效率要提高除簡化焊接作業外，則是希望能夠增加焊接時候的電流，也就是入熱量，使得傳統上必須經 10 幾道，甚至 20 道以上往覆焊接才能填滿的焊道，能夠只經一道焊接即可完成，可節省焊材，縮短焊接工時，提高效益。

### 11.2 高入熱量焊接鋼板：

要配合前述高效率的焊接，勢必要有配合高輸入熱量之鋼板，一般鋼板持用這種高入熱量的焊接方法時，很容易產生焊道熱裂(Hot cracking)及熱影響區脆化問題，入熱量愈大時，組織的粗化及生成硬脆相導致韌性惡化的作用就愈嚴重，因此鋼板在化學成份上必須做一些改良，使得鋼構廠在採用高效率作業時，不致產生上述品質嚴重的缺陷。

## 十二、 結語

12.1 由前述各章節可知鋼材之固有特性及固有瑕疵，確實帶給電焊品質一些問題。

12.2 而這些電焊的問題可經由事先的預防及過程的改善並可將問題降至最低。

12.3 不管是煉鋼技術、設計人員、製造廠家都有必要研究及提升相關知識與技術。



### 十三、 參考文獻

1. 中華民國鋼結構協會, "結構用鋼材之規格與性能手冊" 1997.
2. AISC Engineering Journal. Third Quarter/1987.
3. 劉國雄, 林樹均, 李勝隆, 鄭晃忠, 葉均蔚, "工程材料科學", 二版, 1999.
4. 日鐵熔接工業株式會社, "熔接材料, 機器".
5. The Lincoln Electric Company. The Procedure Handbook of Art Welding. Cleveland, Ohio. 11<sup>th</sup> edition. 1973.
6. AISC Engineering for Steel Construction. 1984.
7. 社團法人日本道路協會道路標示方書同解說, 昭和 55 年
8. Lambert Hall. Structural steel Design. 2<sup>nd</sup> edition. 1974.
9. American Institute Steel Construction(AISC). Manual of Steel Construction. 1989. 9<sup>th</sup> edition.
10. American Welding Society ANSI/D1.1. Structural Welding Code-Steel. 1996. (AWS)
11. 監修/平野道勝, 護雅典/村上武夫 共著, 建築鋼骨的品質管理, 1994, 8.
12. Omer W. Blodgett(1996). Design of Welded structures.

表 3 - 1 JIS G30101-95 一般結構用鋼。

種類 符號	化學成分%				機械性質									
	C	Mn	P	S	拉伸試驗						彎曲試驗			
					降伏點 N/mm <sup>2</sup> 或 降伏強度(kgf/mm <sup>2</sup> )			抗拉強度 N/mm <sup>2</sup> (kgf/mm <sup>2</sup> )	伸長率		彎 曲 角 度	內 側 半 徑	試 片	
					鋼板厚度(mm)				鋼板 厚度 (mm)	試 片				%
16 以下	超過 16 至 40 以 下	超過 40												
SS 400 (SS41)	-	-	0.05 以下	0.05 以下	245(25) 以上	235(24) 以上	215(22) 以上	400~510 (41~52)	<16	1A 號	17 以上	180	厚 度 1.5 倍	1 號
								16~40	1A 號	21 以上				
								>40	4 號	23 以上				

註:1. SS330, SS400, SS490 厚度超過 100mm 時, 其降伏點或降伏強度各需

165N/mm<sup>2</sup>(17kgf/mm<sup>2</sup>), 205N/mm<sup>2</sup>(21kgf/mm<sup>2</sup>), 245N/mm<sup>2</sup>(25kgf/mm<sup>2</sup>) 以上。

2. 厚度超過 90mm 之鋼板, 其 4 號試片之伸長率, 一厚度每增加 25mm(未滿 25mm 以 25mm 計)應自上表之伸長率值減 1%, 但最多不得超過 3%。

表 3 - 2 ASTM A36-94 一般結構用鋼。

化學成分%						機械性質			
						拉伸試驗			
厚度 (mm)	C	Si	Mn	P	S	降伏強度 Ksi (N/mm <sup>2</sup> )	抗拉強度 Ksi (N/mm <sup>2</sup> )	伸長率	
								試片 in (mm)	%
<19.05	<0.25	<0.4	-	<0.04	<0.05	>36 (250)	58~80 (400~550)	GL=8 (200) GL=2 (50)	20 以 上 23 以 上
19.05~ 38.1	<0.25	<0.4	0.8~1.2	<0.04	<0.05				
38.1~ 63.5	<0.26	0.15~0.4	0.8~1.2	<0.04	<0.05				
63.5~ 101.6	<0.27	0.15~0.4	0.85~1.2	<0.04	<0.05				

註：

1. 指定為加鋼構時 Cu 含量不得低於 0.20%。
2. 當 C 含量規格最大值每減少 0.01% 時, Mn 含量規格最大值增加 0.06%, 直到 Mn 最大值為 1.35% 為止。
3. 鋼板寬度超過 24In. (600mm) 時, 伸長率要求值須減低 2%。
4. 鋼板厚度低於 5/16in(8mm) 時, 伸長率依 ASTM A6 之規定遞減。

# 學術天地

## 結構用鋼材特性與電鍍品質之探討

表 3 - 3 ASTM 572-94 加鈮鈮高強度低合金結構用鋼。

種類 符號	化學成分%										機械性質			
	厚度 (mm)	C	Si	Mn	P	S	TYPE1	TYPE2	TYPE3	TYPE4	降伏強度 Ksi (N/mm <sup>2</sup> )	抗拉強度 Ksi (N/mm <sup>2</sup> )	伸長率	
							Nb	V	Nb(0.05%)+V	N(+V)			試片 in(mm)	%
Grade 50	<38.1	<0.23	<0.4	<1.35	<0.04	<0.05	0.005~0.05	0.01~0.15	0.02~0.15	<0.015	>50(345)	>65(450)	GL=8(200)	18 以上
	>38.1		0.15~0.4										GL=2(50)	21 以上

註：

1. 指定為加銅鋼時，銅含量不得低於 0.20%。
2. 鋼板厚度超過 9.53mm 時，Mn 含量不得低於 0.80%；鋼板厚度小於 9.53mm 時，Mn 含量最低值為 0.50%，對所有厚度之鋼板，Mn%:C% 不得少於 2:1。
3. G. 42, Gr. 50 及 Gr. 60 當 C 含量規格最大值減少 0.03% 時，Mn 含量最大值可增至 1.65%。
4. 添加 0.015% 以下 N 來輔助 V 時，V:N 比不得低於 2:1 且須附註在證明書上。
5. 鋼板寬度超過 24in. (600mm) 時，Gr. 42 及 Gr. 50 之伸長率要求值須減低 2%。
6. 鋼板厚度低於 5/16in. (8mm) 時，伸長率依 ASTM A6 之規定遞減。

表 3 - 4 JIS G3106-95 熔接結構用鋼。

種類符號	厚度範圍(mm)	化學成分%					機械性質										
		C	Si	Mn	P	S	拉伸試驗				衝擊試驗						
							降伏點 N/mm <sup>2</sup> 或 降伏強度(kgf/mm <sup>2</sup> )				抗拉強度 N/mm <sup>2</sup> (kgf/mm <sup>2</sup> )	伸長率		試驗溫度 C	衝擊值 (kgf-m)	試片	
							鋼板厚度(mm)					鋼板厚度 (mm)	試片				%
16 以 下	超過 16 至 40 以下	超過 40 至 75 以下	超過 75 至 100 以下														
SM 490A (SM 41C)	<50 50-200	<0.2 <0.22	<0.55	<1.6	<0.035	<0.035	>325 (33)	>315 (32)	>295 (30)	>295 (30)	490-610 (50-62)	6-16	1A 號	17 以上	-	-	4 號平 行軋延 方向
SM 490B (SM 50B)	<50 50-200	<0.18 <0.22										16-50	1A 號	21 以上			
SM 490C (SM 50B)	<100	<0.18	<0.55	<1.6	>40	4 號	23 以上	0	>47(4.8)								
SM 490YA (SM 50YA)	<100	<0.2	<0.55	<1.6	<0.035	<0.035	>365 (37)	>355 (36)	>335 (34)	>325(33)	490-610 (50-62)	6-16	1A 號	15 以上	-	-	
SM 490YB (SM 50YB)												16-50	1A 號	19 以上	0	>27(2.8)	
												>40	4 號	21 以上			

備註:

1. 必要時可添加表列以外之合金元素。
2. 衝擊試驗適用於厚度超過 12mm 之鋼板。

表 3 - 5 G3114-88 耐候性熔接結構用鋼。

種類符號	化學成分%								機械性質											
	C	Si	Mn	P	S	Cu	Cr	Ni	拉伸試驗					衝擊試驗						
									降伏點 N/mm <sup>2</sup> 或 降伏強度(kgf/mm <sup>2</sup> )			抗拉強度 N/mm <sup>2</sup> (kgf/mm <sup>2</sup> )	伸長率		記 號	試 驗 溫 度 C	衝 擊 值 (kgf- m)	試 片		
									鋼板厚度(mm)				鋼板厚 度(mm)	試片					%	
16 以下	超過 16 至 40 以下	超過 40																		
SMA 490 (SMA 50) A. B. C	W	<0.18	0.15- 0.65	<1.4	<0.035	<0.035	0.3~0.5	0.45~ 0.75	0.05~ 0.3	>365 (37)	>355 (38)	>335 (34)	490~610 (50~62)	<16	1A 號	15 以上	A	A	-	4 號 平行 軋延 方向
	P	<0.18	<0.55	<1.4	<0.035	<0.035	0.2~0.35	0.3~ 0.55	-					16~40	1A 號	19 以上	B	0	<27 (2.8)	
		>40	4 號	21 以上	C	0	>47 (4.8)													

註：

1. 上表中之"W"表示鋼板通常以交貨時之狀態或經防鏽化學處理後使用，"P"表示鋼版通常經塗裝後使用。
2. 各種類可添加適量之耐腐蝕元素，如 Mo. Nb. Ti 及 Zr 等，但此些元素之總含量不得超過 0.15%。
3. 衝擊試驗吸收能之要求值若高於表列之規定值，可由買賣雙方協議之。
4. 衝擊試驗適用於厚度超過 12mm 之鋼板。

表 3 - 6 ASTM A588-94 降伏強度 50Ksi 以上之高強度低合金鋼。

種類符號	化學成分%												機械性質			
	C	Si	Mn	P	S	Cu	Ni	Cr	Mo	V	Zr	Nb	拉伸試驗			
													降伏強度 Ksi(N/mm <sup>2</sup> )	抗拉強度 Ksi(N/mm <sup>2</sup> )	伸長率	
試片	%															
Grade A	0.19 以下	0.3-0.65	0.80-1.25	0.04 以下	0.05 以下	0.25-0.40	0.4 以下	0.4-0.65	-	0.02-0.1	-	-	50(345) 以上	70(485) 以上	GL-8 (200) GL-2 (50)	18 以上 21 以上
Grade B	0.20 以下	0.15-0.5	0.75-1.35	0.04 以下	0.05 以下	0.2-0.4	0.5 以下	0.4-0.7	-	0.01-0.1	-	-				
Grade C	0.15 以下	0.15-0.40	0.80-1.35	0.04 以下	0.05 以下	0.2-0.5	0.25-0.5	0.3-0.5	-	0.01-0.1	-	-				
Grade D	0.17 以下	0.25-0.5	0.50-1.20	0.04 以下	0.05 以下	0.3-0.5	0.4 以下	0.4-0.7	0.1 以下	-	-	0.005 -0.05				

註：

1. 鋼板寬度超過 24in(600mm)時，伸長率要求值須減低 2%。
2. 鋼板厚度低於 5/16in.(8mm)時，伸長率依 ASTM A6 之規定遞減。

# 學術天地

## 結構用鋼材特性與電鍍品質之探討

表 3 - 7 ASTM A709-94 橋梁用結構用鋼。

種類 符號	化學成分%										機械性質			
	厚度(mm)	C	Si	Mn	P	S	TYPE1	TYPE2	TYPE3	TYPE4	降伏強度 Ksi (N/mm <sup>2</sup> )	抗拉強度 Ksi (N/mm <sup>2</sup> )	伸長率	
							Nb	V	Nb(0.05%)+V	N(+V)			試片 in(mm)	%
Grade	38.1 以下	0.23	0.4 以下	1.35	0.04	0.05	0.005~0.05	0.01~0.15	0.02~0.15	0.015	50(345)以上	65(450)以上	GL=8(200)	18 以上
50	超過 38.1	以下	0.15~0.4	以下	以下	以下							以下	GL=2(50)

註：

1. 指定為加銅鋼時，銅含量不得低於 0.20%。
2. Grade 50 當鋼板厚度超過 9.53mm 時，Mn 含量不得低於 0.80%；鋼板厚度小於 9.53mm 時，Mn 含量最低值為 0.50%，對所有厚度之鋼板，Mn%:C%不得少於 2:1。
3. Grade 50 當 Si 含量超過 0.40%時，須經協議。
4. Grade 50 當 C 含量規格最大值減少 0.03%時，Mn 含量最大值可增至 1.50%。
5. 添加 0.05%以下 N 來輔助 V 時，V:N 比不得低於 2:1 且須附註在證明書上。
6. 鋼板寬度超過 24in. (600mm)時，伸長率要求值須減低 2%。
7. 鋼板厚度低於 5/16in. (8mm)時，伸長率依 ASTM A6 之規定遞減。



表 3 - 8 JIS G3316 SN 系列建築結構用鋼。

種類 符號	厚度範圍 (mm)	化學成分%						機械性質																		
		C	Si	Mn	P	S	Ceq	降伏點 N/mm <sup>2</sup> 或 降伏強度(kgf/mm <sup>2</sup> )					抗拉強度 N/mm <sup>2</sup> (kgf/mm <sup>2</sup> )	降伏比					伸長率			厚度方向面 縮率%		試驗 溫度 C	衝擊值 (kgf-m)	試片
								鋼板厚度(mm)						鋼板厚度(mm)					鋼板厚度(mm)			三個 試片 平均 值	單一 試片			
								12 以 下	超過 12 至 16 以下	16	超過 16 至 40 以下	超過 40 至 100 以下		12 以下	超過 12 至 16 以下	16	超過 16 至 40 以下	超過 40 至 100 以下	16 以下	超過 16-50 以下	超過 40-100 以下					
SN 400A	100 以下	<0.24	-	-	<0.05	<0.05	-	235 (24) 以上	235 (24) 以上	235 (24) 以上	235 (24) 以上	215 (22) 以上	400-510 (41-52)	-	-	-	-	-	17 以上	21 以上	23 以上	-	-	0	>27 (2.8)	4 號 平行 軋延 方向
SN 400B	<50 50-100	<0.20 <0.22	<0.35	0.6- 1.4	<0.03	<0.015	<0.36	235 (24) 以上	235-355 (24-36)	235-355 (24-36)	235-355 (24-36)	215-355 (22-34)		-	80 以下	80 以下	80 以下	80 以下	18 以上	22 以上	24 以上	-	-			
SN 400C	<50 50-100	<0.20 <0.22	<0.35	0.6- 1.4	<0.02	<0.008	<0.36	-	-	235-355 (24-36)	235-355 (24-36)	215-355 (22-34)		-	-	80 以下	80 以下	80 以下	-	-	25 以上	25 以上				
SN 490B	40 以下 40-50 以下 50-100 以 下	<0.18 <0.18 <0.2	<0.55	<1.6	<0.03	<0.015	0.44 以下 0.46 以下	-	-	235-445 (33-45)	235-445 (33-45)	295-415 (30-42)	490-610 (50-62)	-	80 以下	80 以下	80 以下	80 以下	17 以上	21 以上	23 以上	-	-			
SN 490C	40 以下 40-50 以下 50-100 以下	<0.18 <0.18 <0.2	<0.55	<1.6	<0.02	<0.008	0.44 以下 0.46 以下	-	-	-	-	-		-	-	-	80 以下	80 以下	80 以下	-	-	25 以上	15 以上			

註:

1. 必要時可添加表列以下合金元素。

$$2. Ceq = C + \frac{Mn}{6} + \frac{Si}{24} + \frac{Ni}{40} + \frac{Cr}{5} + \frac{Mo}{4} + \frac{V}{14}$$

3. 衝擊試驗適用於厚度超過 12mm 鋼板。

# 學術天地

## 結構用鋼材特性與電鍍品質之探討

表 6 - 1 AWS 規定最小預熱及層間溫度。

Group	母材總類				焊接方式	焊接處最厚板厚		最小溫度			
						in	mm	°F	°C		
I	ASTM	A36 <sup>3</sup>	ASTM	A516	除了低氫系以外之被覆焊條 焊接	up to 3/4 19 incl.		不規定			
	ASTM	A53 Grade B	ASTM	A524		Grade I&II					
	ASTM	A106 Grade B	ASTM	A529							
	ASTM	A131 Grades A B	ASTM	A570		ALL	Grades	over 3/4	19	150	66
			CS D DS E	ASTM		A573	Grade	65	thru		
	ASTM	A139 Grade B	ASTM	A709		Grade	A36 <sup>3</sup>	1-1/2	38		
	ASTM	A381 Grade Y35	API	5L		Grade	B	thru	64	225	107
	ASTM	A500 Grade A				Grade	X42	2-1/2	incl.		
		Grade B	ABS	Grade	A, B, D, CS, DS						
ASTM	A501			Grade	E	over	64	300	150		
						2-1/2					

Group	母材總類				焊接方式	焊接處最厚板厚		最小溫度	
						in	mm	°F	°C
II	ASTM	A36 <sup>3</sup>	ASTM	A570	ALL	Grades	up to 3/4 19 incl.	不規定	
	ASTM	A53	Grade B	ASTM	A572	Grades 42, 50			
	ASTM	A106	Grade B	ASTM	A573	Grade 65			
	ASTM	A131	Grades A B	ASTM	A588				
			CS, D, DS, E	ASTM	A595	Grades A, B, C			
			AH 32 & 36	ASTM	A606				
			DH 32 & 36	ASTM	A607	Grades 45, 50, 55			
			EH 32 & 36	ASTM	A618				
	ASTM	A139	Grade B	ASTM	A633	Grades A, B			
	ASTM	A242				Grades C, D			
	ASTM	A381	Grade Y35	ASTM	A709	Grades 36, 50, 50w			
	ASTM	A441		API	5L	Grade B			
	ASTM	A500	Grade A	API	Spec. 2H	Grade X42			
			Grade B	ABS		Grades 42, 50			
	ASTM	A501				Grades AH 32 & 36			
ASTM	A516	Grade 55 & 60			DH 32 & 36				
		65 & 70			EH 32 & 36				
ASTM	A524	Grade I & II	ABS		Grades A, B, D				
ASTM	A529				CS, DS				
ASTM	A537	Classes 1 & 2			Grade E				

# 學術天地

## 結構用鋼材特性與電銲品質之探討

Group	母材總類			焊接方式	焊接處最厚板厚		最小溫度	
					in	mm	°F	°C
III	ASTM	A572	Grades 55 & 60	(SMAW)	up to 3/4	19 incl.	50	10
	ASTM	A633	Grade E	(SAW)	over 3/4	19		
	API	5L	Grade X52	(GMAW)	thru 1-1/2	3/8 incl.	150	66
				(FCAW)	over 1-1/2	38		
					thru 2-1/2	64 incl.	225	107
					over 2-1/2	64	300	150
Group	母材總類			焊接方式	焊接處最厚板厚		最小溫度	
					in	mm	°F	°C
IV	ASTM	A514		(SMAW)	up to 3/4	19 incl.	50	10
	ASTM	A517		(SAW)	over 3/4	19		
	ASTM	A709	Grades 100 & 100W	(GMAW)	thru 1-1/2	3/8 incl.	125	50
				(FCAW)	over 1-1/2	38		
					thru 2-1/2	64 incl.	175	80
					over 2-1/2	64	225	107

註:

1. 表 1 中不規定遇熱溫度時，如母材溫度低於 32。F 時，母材必須預熱至 70。F 以上，且在焊接中必須繼續保持此溫度。
2. 對於 A-514，A-517 和 A-709 Gr. 100 及 100W 的鋼，其預熱即層間溫度於 38mm(含)以下最大不得超過 400。F，38mm 以上不得超過 450。F。
3. 對於 A-36 或 A709 Gr. 36 之預熱及層間溫度之規定僅適用於橋樑結構時板厚超過 1" 時使用。

表 8 - 1 AWS(AISC)規定不同厚度之一道電焊角焊，最小角長。

焊接母材較厚板(T)		最小焊道腳長#		
in.	mm	in.	mm	
$T \leq 1/4$	$T \leq 6.4$	1.8##	3	} 單一焊道
$1/4 < T \leq 1/2$	$6.4 < T \leq 12.7$	3/16	5	
$1/2 < T \leq 3/4$	$12.7 < T \leq 19.0$	1/4	6	
$3/4 < T$	$19.0 < T$	5/16	8	

#焊道腳長不必超過較厚母材，如超過時，則應注意預熱。

##對橋樑應用最小焊道腳長為 3/16 in.

表 8 - 2 AWS(AISC)規定不同厚度之部分滲透一道電焊，最小有效焊喉。

焊接母材較厚板(T)		最小有效焊喉#	
in.	mm	in.	mm
1/8(3.2) to 3/16(4.8) incl.		1/16	2
Over 3/16(4.8) to 1/4(6.4) incl.		1/8	3
Over 1/4(6.4) to 1/2(12.7) incl.		3/16	5
Over 1/2(12.7) to 3/4(19.0) incl.		1/4	6
Over 3/4(19.0) to 1-1/2(38.1) incl.		5/16	8
Over 1-1/2(38.1) to 2-1/4(57.1) incl.		3/8	10
Over 2-1/4(57.1) to 6(152) incl.		1/2	13
Over 6(152) incl.		5/8	16

#有效焊喉不必超過較厚母材

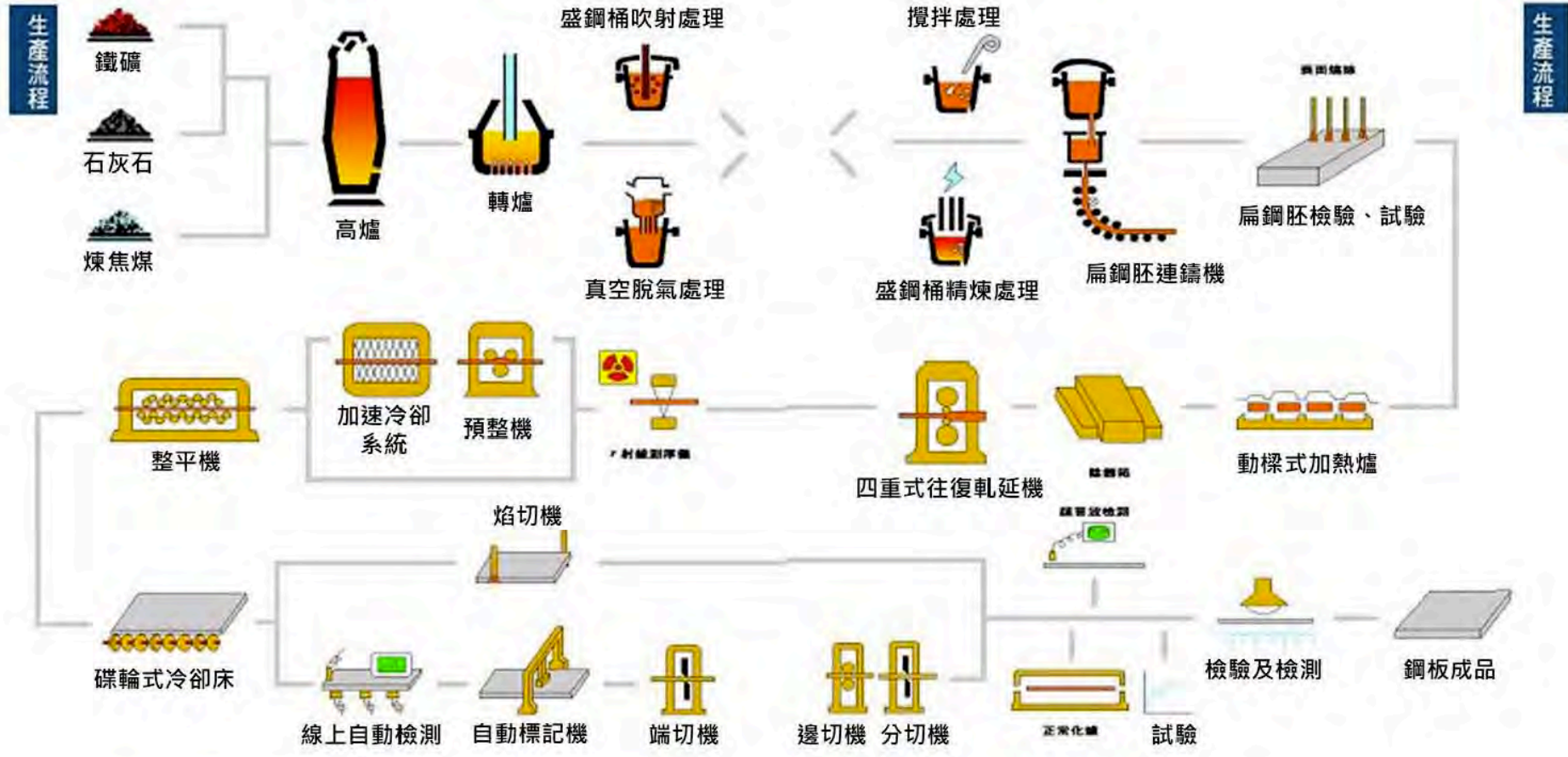


圖 2 - 1 煉鐵煉鋼與軋鋼流程圖

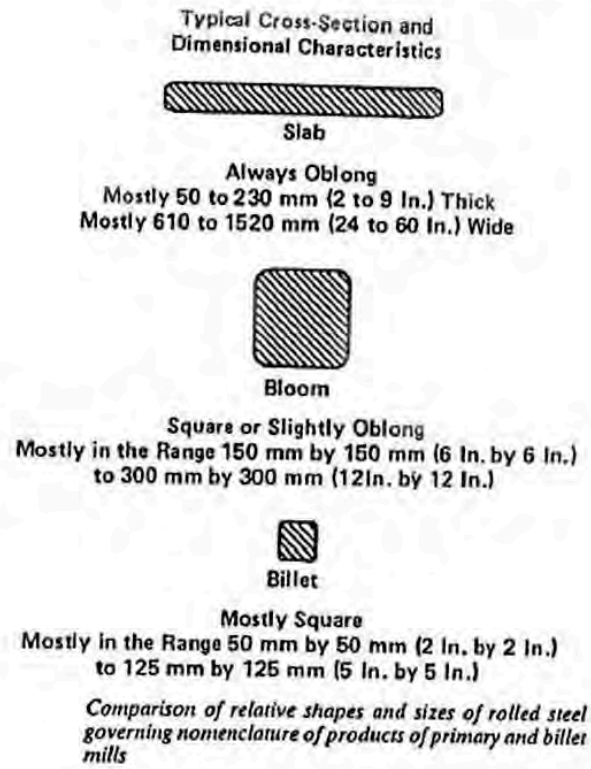


圖 2 - 2 扁鋼胚(Slab)、鋼棒(Billet)、鋼塊(Bloom)

標 記 位 置

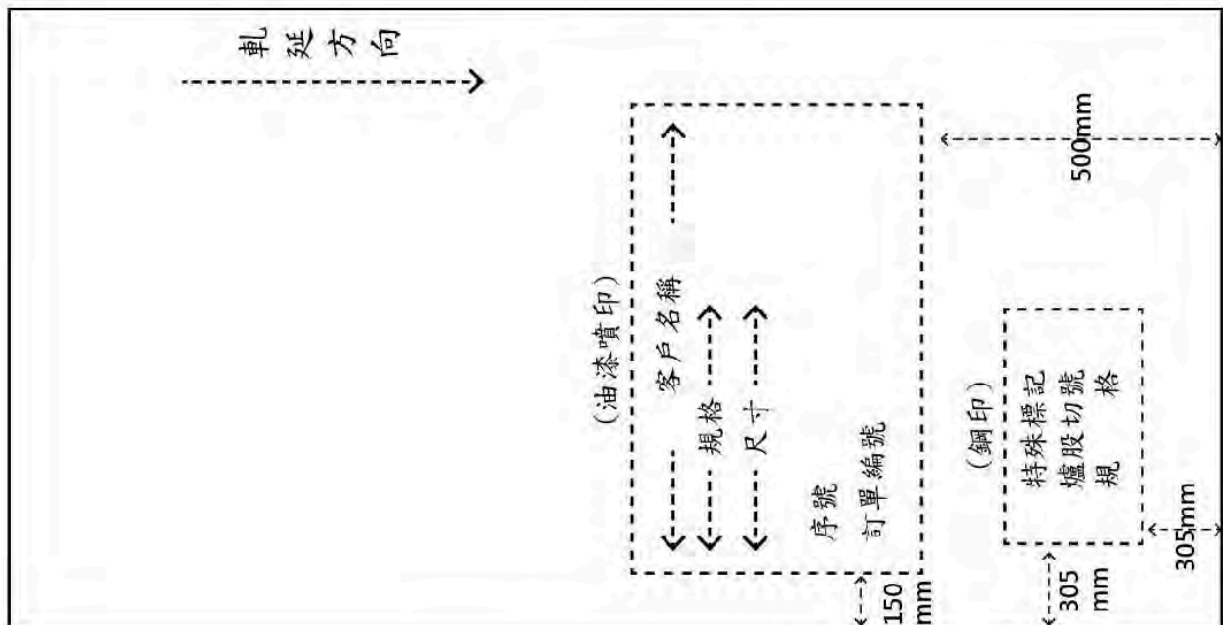


圖 2 - 3 鋼板出場標記

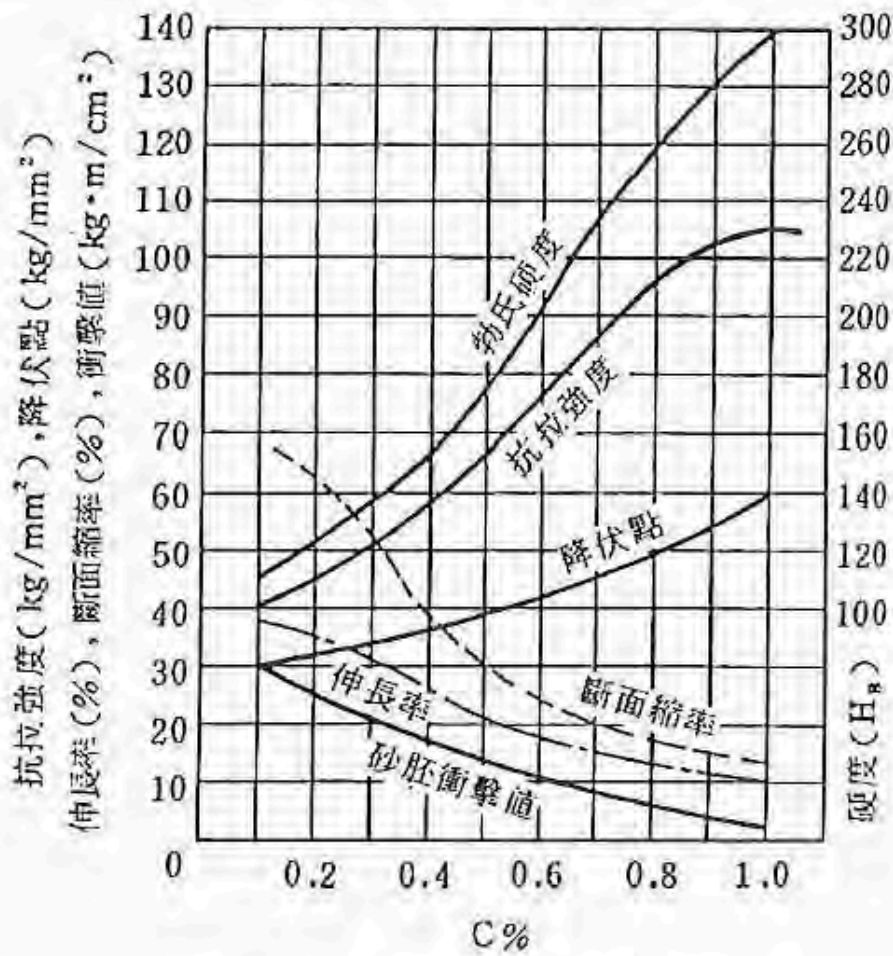


圖 3 - 1 正常化碳鋼機械性質與碳含量關係

$$C_{eq}(\%) = C + \frac{Mn}{6} + \frac{Si}{24} + \frac{Ni}{40} + \frac{Cr}{5} + \frac{Mo}{4} + \frac{U}{14} (\%) \quad (JISG7106)$$

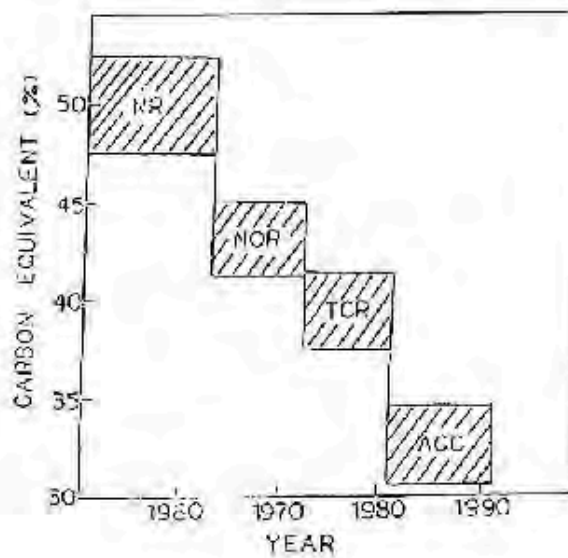


圖 4 - 1 抗拉強度 50kg/mm<sup>2</sup> 等級鋼板碳當量生產製造的發展



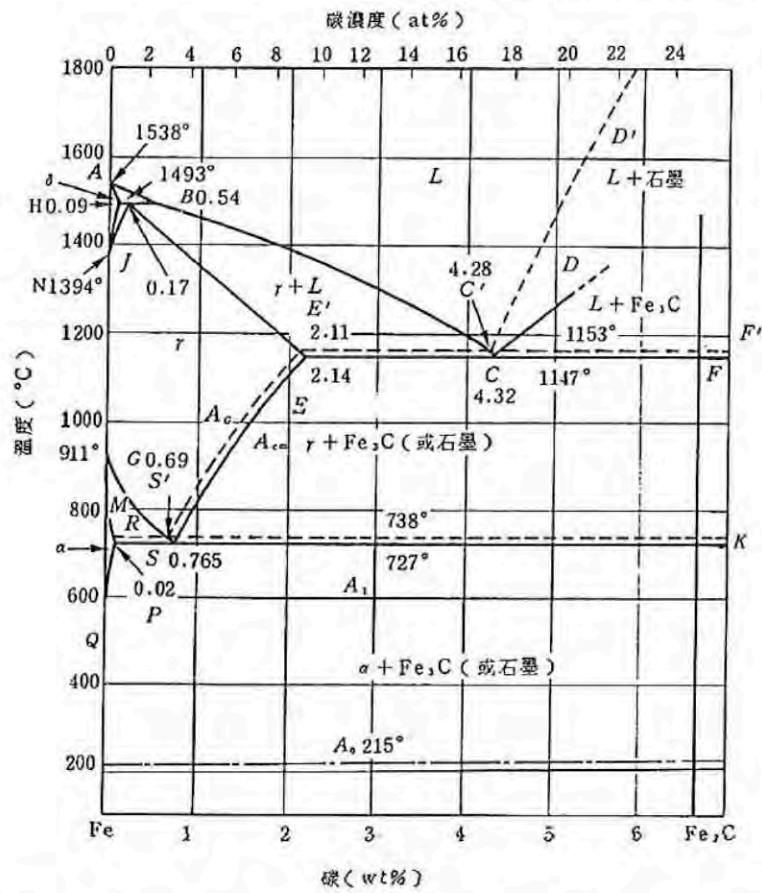


圖 6-1 碳鋼(Fe-C)合金在各種含碳量及各種溫度下所呈現的相及相的變化

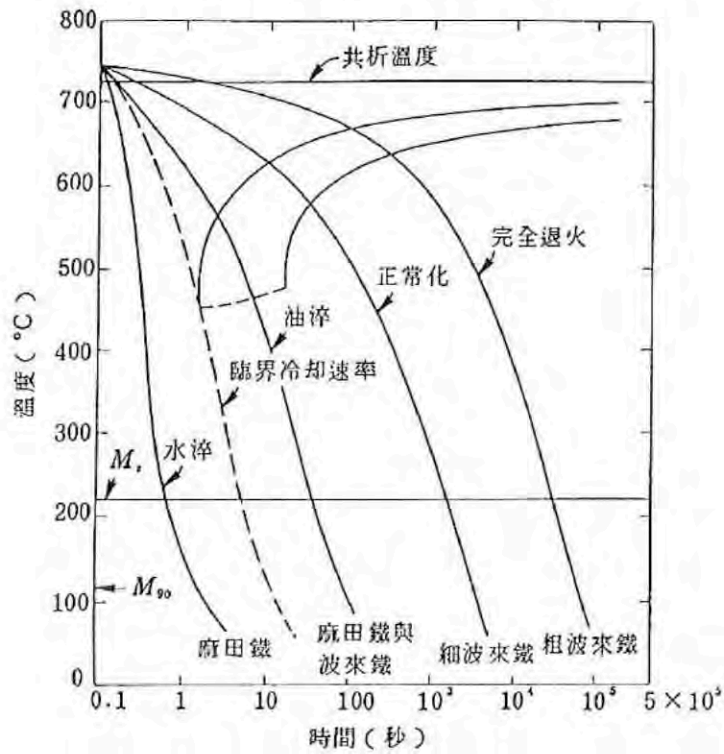


圖 6-2 碳鋼在不同冷卻速度下產生不同的微結構

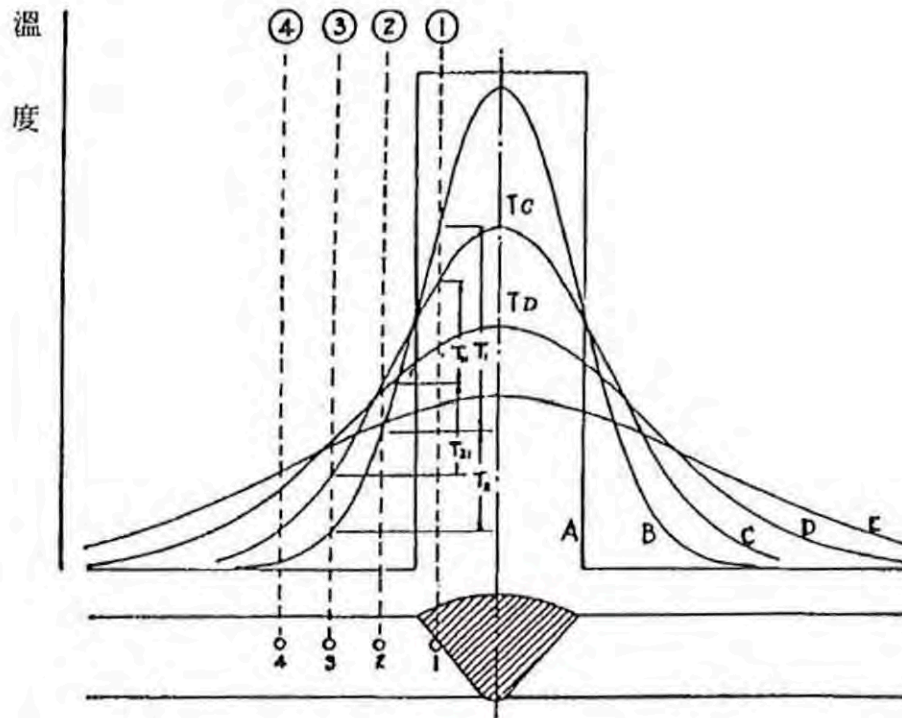


圖 6 - 3 焊道附近溫度分佈

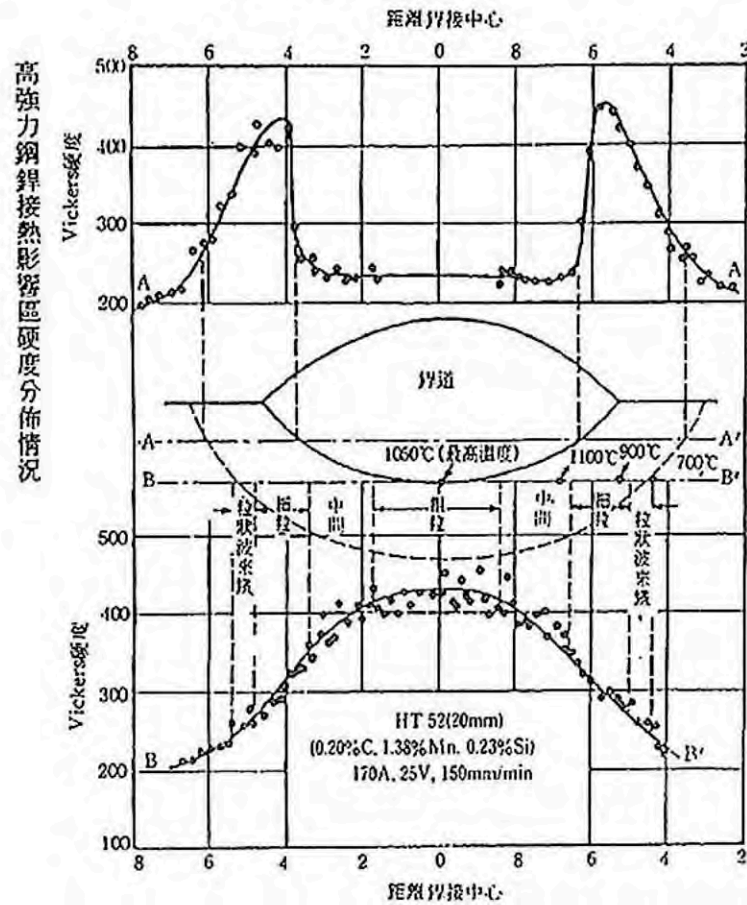
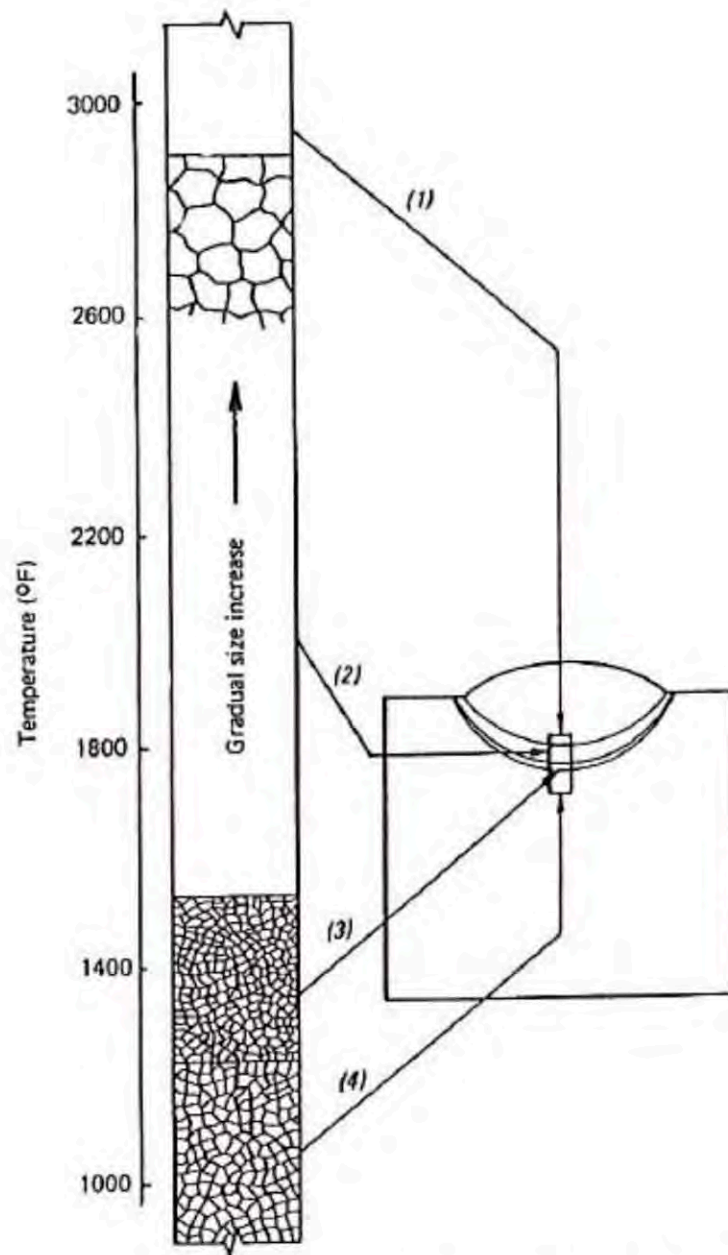


圖 6 - 4 電焊處材質變化(一)



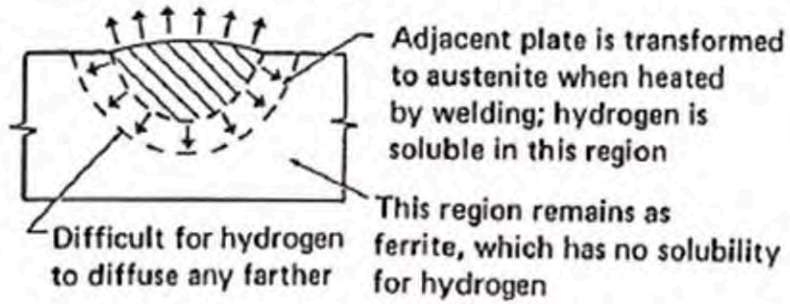
Effect of welding heat on hardness and microstructure of an arc-welded 0.25% carbon steel plate. The schematic diagram represents a strip cut vertically through the weld shown. Significance of the four numbered zones are: 1. Metal that has been melted and resolidified. Grain structure is coarse. 2. Metal that has been heated above the upper critical temperature (1525°F for 0.25% carbon steel) but has not been melted. This area of large grain growth is where underbead cracking can occur. 3. Metal that has been heated slightly above the lower critical temperature (1333°F) but not to the upper critical temperature. Grain refinement has taken place. 4. Metal that has been heated and cooled, but not to a high enough temperature for a structural change to occur.

圖 6 - 5 電銲處材質變化(二)

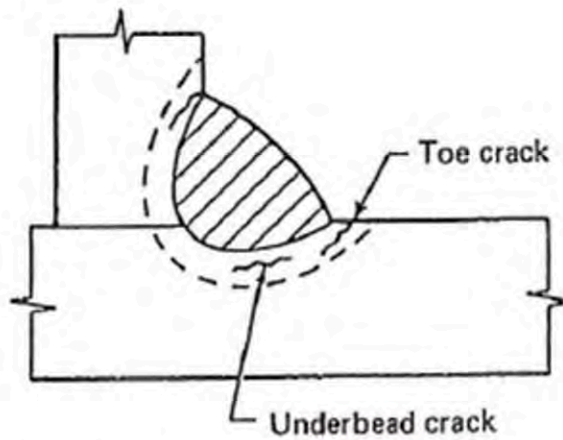
# 學術天地

## 結構用鋼材特性與電銲品質之探討

Most of the hydrogen escapes through the weld into the air



Austenitic heat-affected zone of a weld has high solubility for hydrogen. Upon cooling, the hydrogen builds up pressure that can cause underbead cracking.



Underbead cracking and toe cracks caused by hydrogen pickup in heat-affected zone of plate.

圖 6 - 6 電銲處材質變化(三)

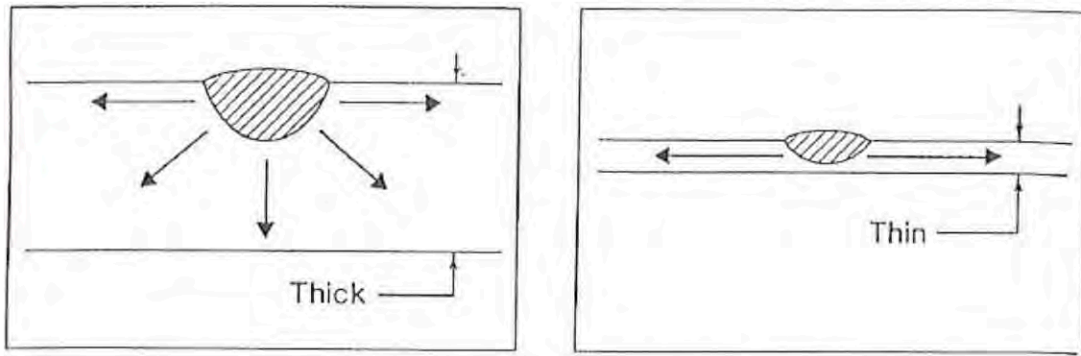


圖 6 - 7 厚薄板熱傳導不同類型

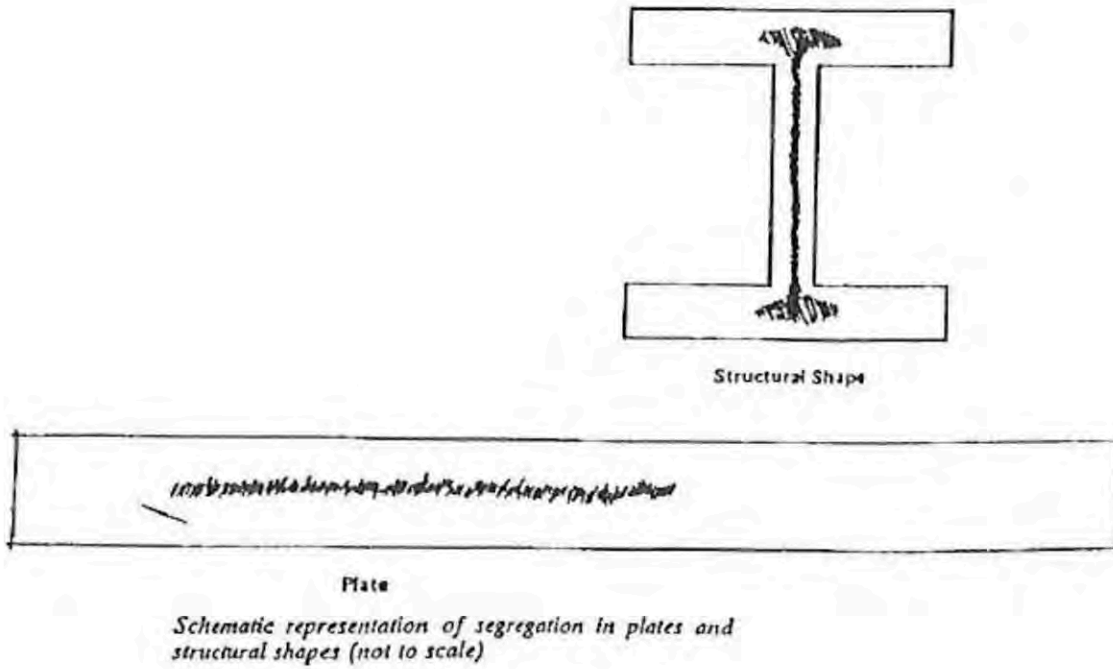


圖 7 - 1 鋼材內部偏析或偏折

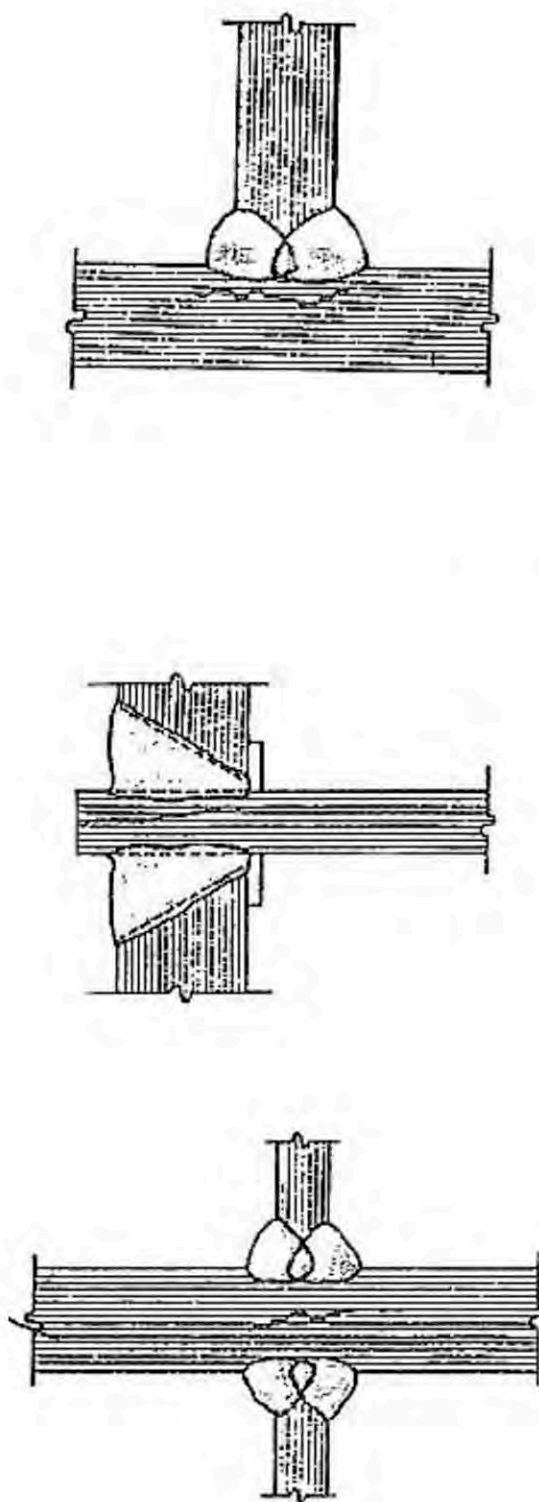
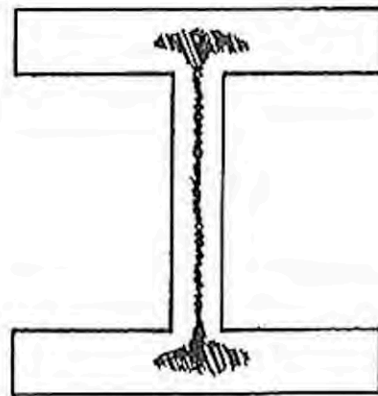


圖 7 - 2 夾層電焊後產生裂縫



Structural Shape

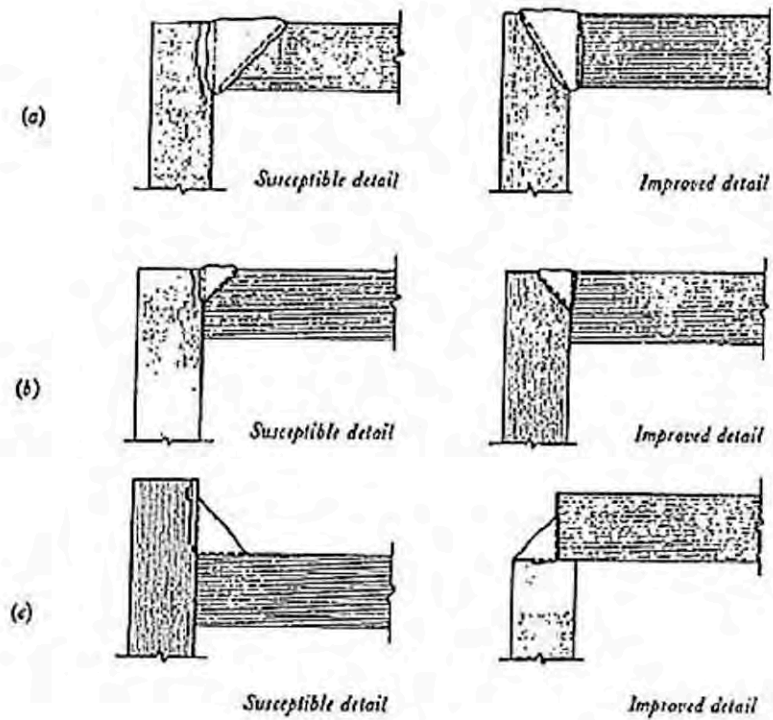


圖 7 - 3 鋼材層狀組織

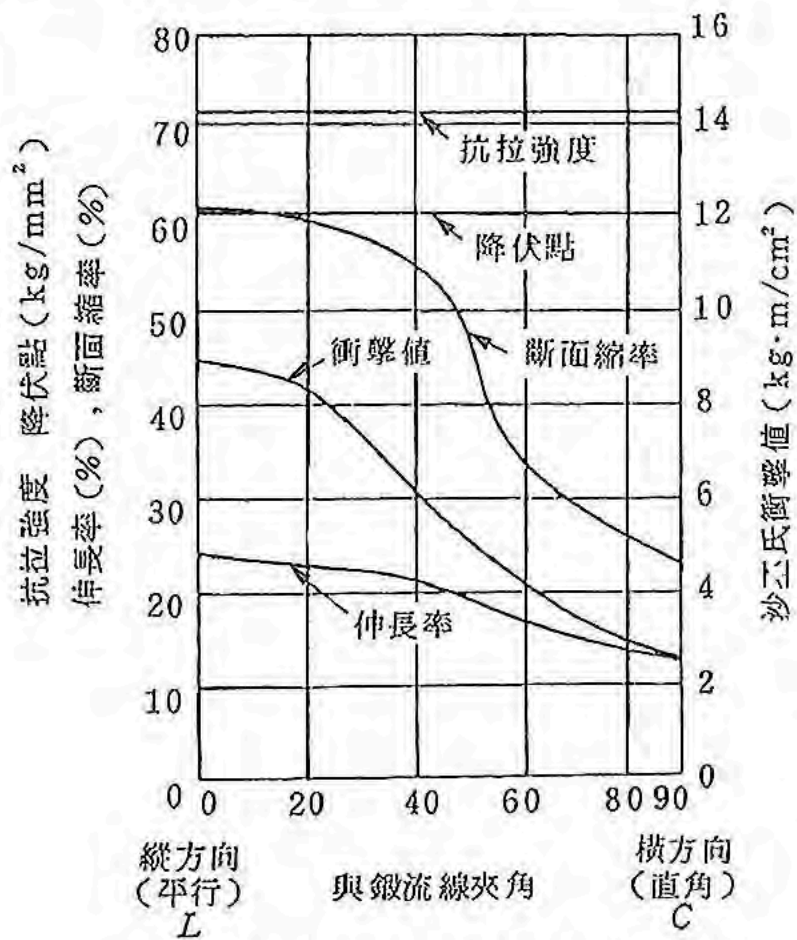


圖 8 - 1 鋼板軋延方向與垂直方向機械性質的關係

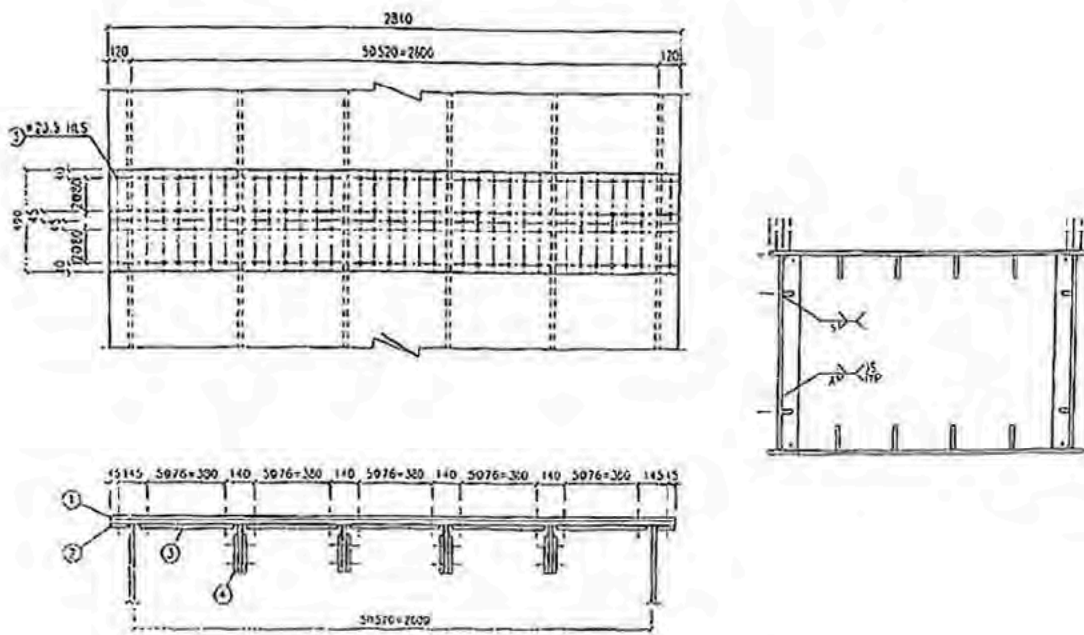


圖 8 - 2 鋼材接合板示意圖



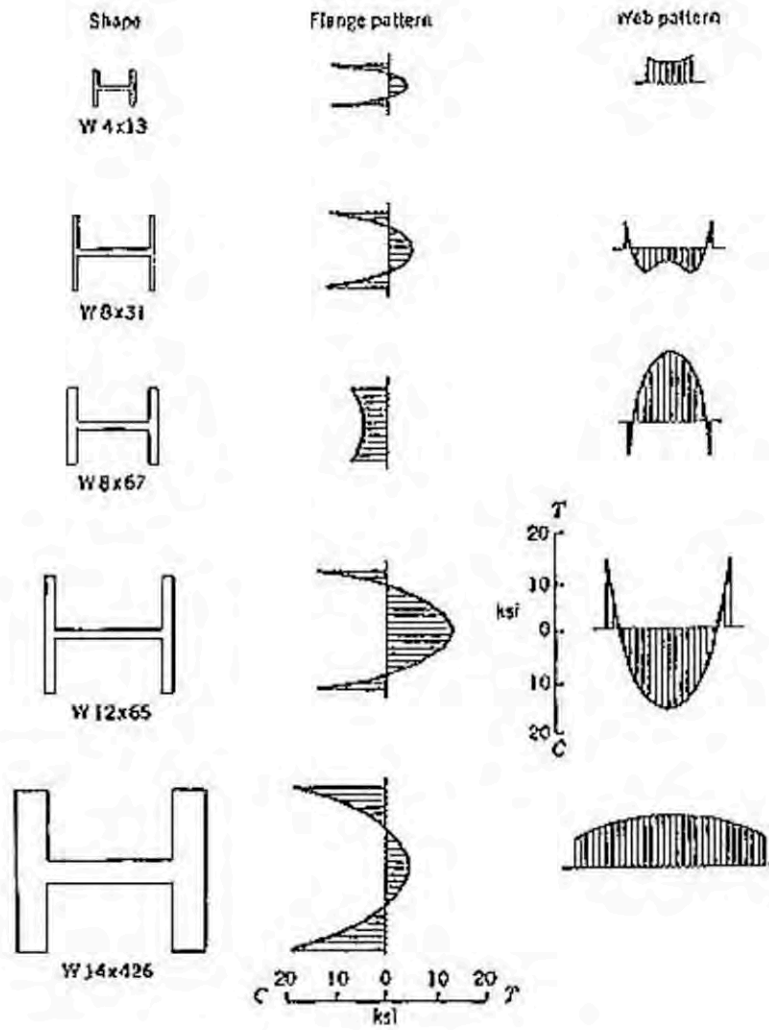


圖 9 - 1 熱軋型鋼殘留應力

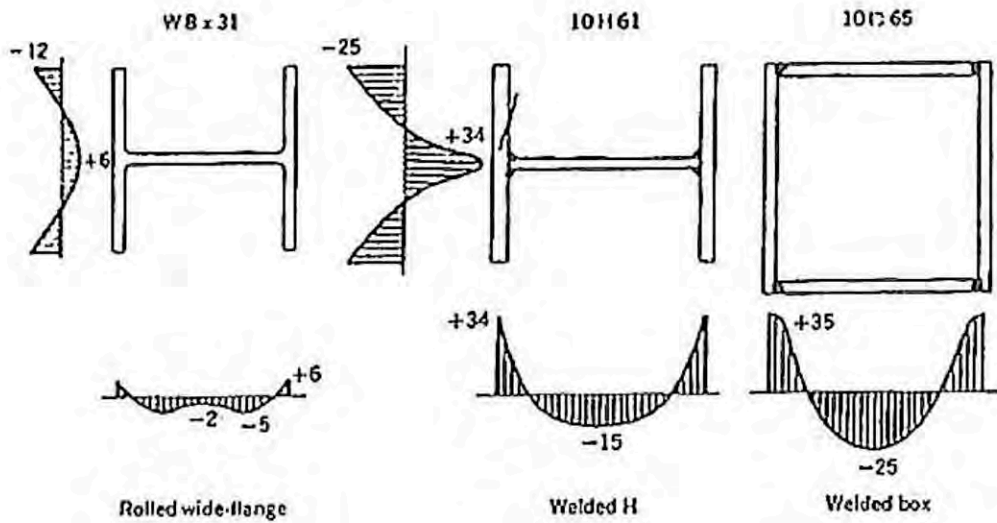


圖 9 - 2 組合型鋼殘留應力

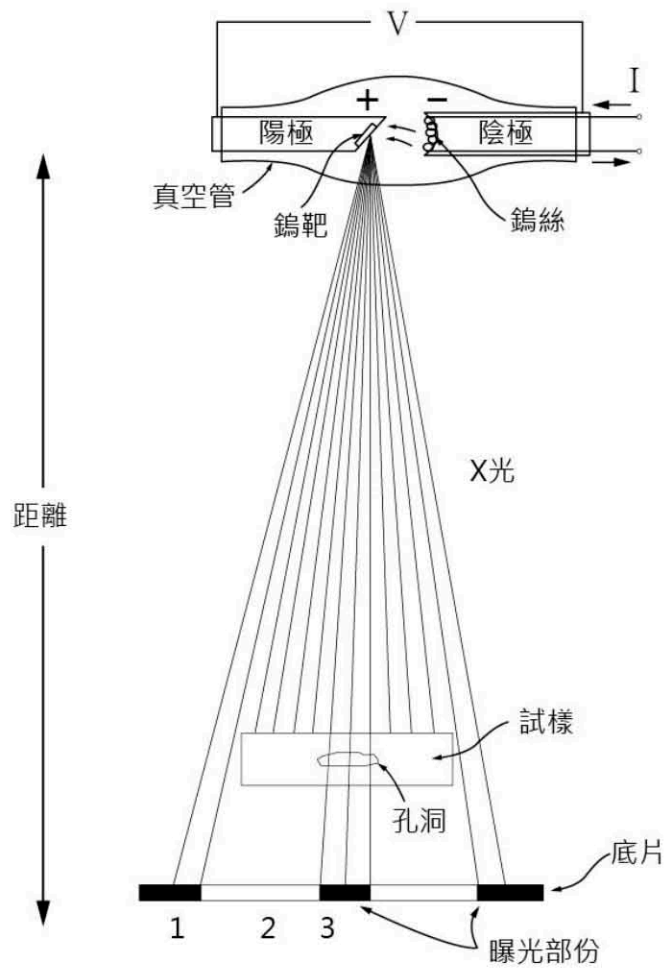


圖 10 - 1 放射線檢測

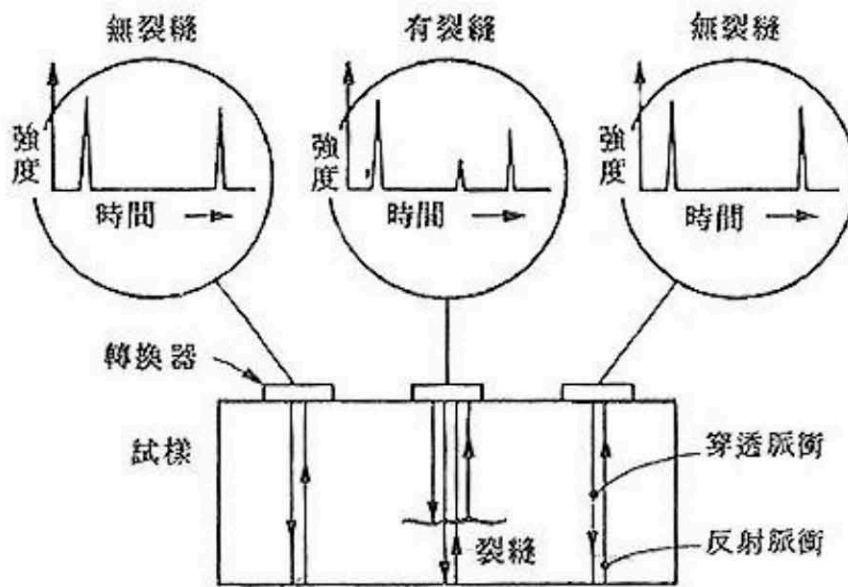


圖 10 - 2 超音波檢測

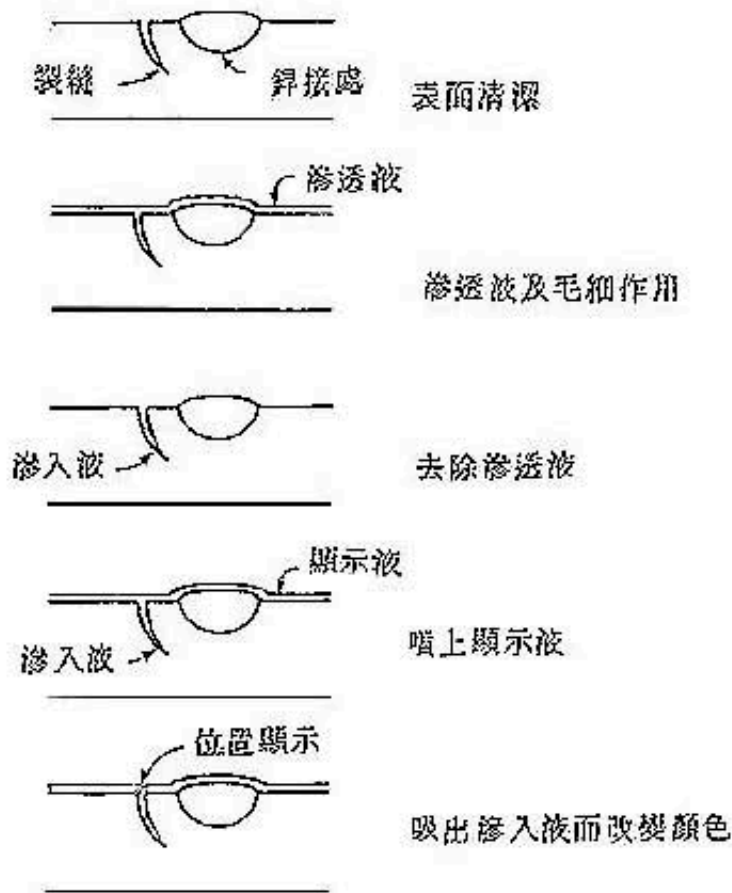


圖 10 - 3 滲透液檢測

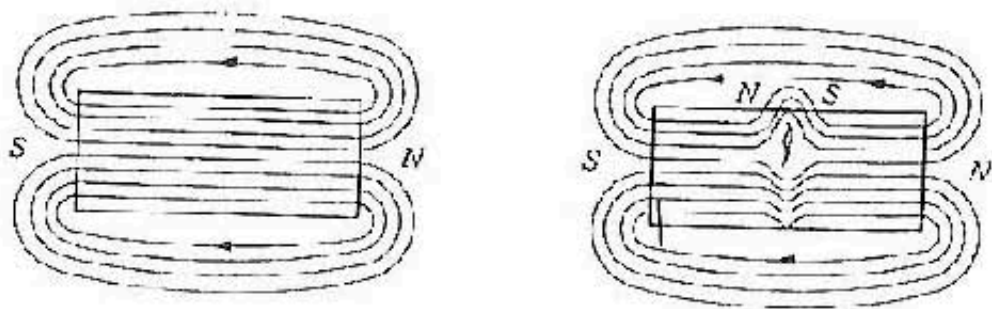


圖 10 - 4 磁粉探分檢測