

惰性氣體半自動電銲能力本位訓練教材 認識銲接破壞性檢驗方法

編號：PFG-PFW0104

編著者：古錦松

審稿者：田振榮、陳燦錫

主辦單位：行政院勞工委員會職業訓練局

研製單位：中華民國職業訓練研究發展中心

印製日期：九十年十二月

單元 PFG-PFW0104 學習指引

當你學習本單元前，你必須認識金屬材料之鋼鐵材料部份、不銹鋼材料部份及鋁及鋁合金材料部份，進而獲知其材料特性。假如你能認識上列之知識，請翻至第 2 頁開始學習本單元，假如你自認無法勝任，則請按下列之指示進行學習：

- (1)你無法勝任上列之鋼鐵材料部份，請將本教材放回原位，並取出編號 PFG-PFW0101 教材開始學習，或請教你的老師。
- (2)你無法勝任上列之不銹鋼材料部份，請將本教材放回原位，並取出編號 PFG-PFW0102 教材開始學習，或請教你的老師。
- (3)你無法勝任上列之鋁及鋁合金材料部份，請將本教材放回原位，並取出編號 PFG-PFW0103 教材開始學習，或請教你的老師。

引言

所謂破壞性試驗，則是試片或銲接構造物之銲件中切取其中一小部份試片來做某一定的破壞性試驗，求得品質管制的依據。由於銲接工程無法像鉚釘接合可由外面簡便地判斷接合情形，而在一般銲接接合之好壞，完全依靠電銲工作人員技藝的優良與否，因而與其他接合方式來比較時，其可靠性當會有較多問題，所以檢驗銲接接合部份是非常重要的環，而破壞性的檢驗方法就應運而生，因此從事銲接工作的人員更加須要充份瞭解銲接後常用之破壞性檢驗方法，以確保材料的適用性及安全性。

定義

強度：為材料在承受各種外加負荷時，其承受對變形的抵抗力。主要有抗拉強度、降伏強度、抗壓強度、疲勞強度、潛變強度及衝擊強度。

硬度：為材料表面對於被局部壓穿的抵抗能力。硬度愈大之材料對磨耗、蝕刻、刮刻及壓凹的抵抗力愈高。一般鋼材的硬度約與強度成正比。

延性：指材料在破壞前所生成的變形量，變形量愈大的材料，延性愈佳，其表示法有二，

一、
$$\text{伸長率}\% = \frac{\text{變形後長度} - \text{原來長度}}{\text{原來長度}} \times 100\%$$

二、
$$\text{斷面縮率}\% = \frac{\text{原來截面積} - \text{變形後截面積}}{\text{原來截面積}} \times 100\%$$

韌性：為材料對於衝擊試驗所負荷的抵抗能力，或材料對於破裂的抵抗能力，韌性與強度及延性兩者有關。

學習目標

- 一、你能夠在不使用參考書籍下，正確地列舉出銲接常用破壞性檢驗方法之種類及使用目的。
- 二、你能夠在不使用參考書籍下，正確地列舉出銲接常用之技能檢定彎曲試驗法。

假如你認為能夠勝任學習目標一.的能力，請翻至第 27 頁做學習評量。
假如你認為能夠勝任學習目標二.的能力，請翻至第 49 頁做學習評量。
假如你須要更多的學習的話，請翻至下一頁。

學習活動

本單元之學習活動為認識銲接檢驗方法之破壞性檢驗方法，而我們學習與銲接檢驗方法有關之知識，你可以由下列三條途徑中選擇其一途徑去學習。

- 一、閱讀本教材之第 5 頁至第 50 頁。
- 二、閱讀機械材料 金重勳著（新修訂版）復文圖書出版 P.92-119。
- 三、閱讀熔接學 陳志鵬著 全華科技圖書出版 p.210-222。

本單元的第一個學習目標是：

你能夠在不使用參考書籍下，正確地列舉出銲接常用破壞性檢驗方法之種類及使用目的。

一、銲接檢驗

金屬材料在銲接時，由於在短時間內承受高熱及急速冷卻，導致銲件及銲道組織，產生各種變化，甚至在意想不到的地方發生缺陷，因而引起重大的事故，所以銲接部份之檢查極為重要。銲接檢驗的目的主要為以各種檢驗方法及儀器對銲件實施檢驗，來檢驗出因不慎產生的缺陷，如夾渣、銲蝕、龜裂、氣孔.....等，並針對缺陷予以補救或改進，來確保銲後銲件品質的完美無缺。在各種應運而生的銲接檢驗方法中可分為兩種，破壞性檢驗方法（Destructive Test，簡稱 DT）及非破壞性檢驗方法（Non-Destructive Test，簡稱 NDT）。所謂破壞性檢驗方法之意義，就是將試片或銲件加以額外加工製成標準試片來做試驗者；而非破壞性檢驗方法之意義，即為不破壞原有試片或銲件，而能檢查出此材料有無缺陷的方法。

二、檢驗方法之分類

以工程材料來說其檢驗方法眾多，且程度深淺不一，在此單元教材裏以重要概括性的分類，讓你對銲接與工程材料應用上能區分及瞭解。一般材料試驗是分別利用機械、物理及化學等原理來進行的，茲說明如下：

（一）機械性質試驗

利用機械方式加外力在試片上，來獲得材料受到外加應力時，其形狀的改變，而這些試驗方法有：拉伸、彎曲、硬度、壓縮、衝擊、疲勞、剪斷及磨耗等。

（二）物理性質試驗

利用電學、光學、熱學、聲學等物理原理來判別材料的特性，這些試驗方法有：金相、光學顯微鏡、電子顯微鏡、比熱、導電係數、彈性係數、導熱係數及 X 光繞射等試驗。

(三) 化學性質試驗

利用分析材料所含的化學成份或抗化學反應之特性，這些試驗方法有化學滴定、抗腐蝕性能及鹽霧試驗等。

一般工程材料的試驗方法可依破壞程度來區分，有破壞性試驗、局部破壞性試驗及非破壞性試驗，由下列分述之。



三、銲接常用之破壞性檢驗方法

由上述的檢驗方法之分類中可知，銲件（材料）在未銲接前，有其一定的特性，但經過銲接的高熱及急速冷卻過程後，往往破壞了原有特性，所以必須藉助一些檢驗方法來得知銲後狀況，而銲接後常使用的破壞性檢驗方法有下列幾種，拉伸試驗、彎曲試驗、衝擊試驗、硬度試驗、疲勞試驗、潛變試驗、金相試驗及水壓試驗法等。由於破壞性試驗法其設備體積龐大，無法隨意搬動，且試驗手續繁多，故一般以在實驗室中進行比較多。常用的彎曲試驗法在下個學習目標單獨介紹，其餘各銲接常用之試驗方法介紹如下：

（一）拉伸試驗（tension test），又稱抗拉試驗：

將銲件加工成標準試片，置於萬能試驗機的夾頭上，如圖 1 所示。兩端施以拉力，直到拉斷為止，由此試驗的結果，可以看出材料在銲接前與銲接後的差異，尤其銲件的抗拉強度、降伏點、伸長率及斷面縮率等，所以拉伸試驗為材料試驗方法中最重要的。



圖 1 電腦化萬能試驗機全貌

拉伸試驗完成後，其試片斷裂面的特徵，可約略得知此材料在金屬組成及特性的資料。假若斷裂面呈杯狀或錐狀者，表示其延展性適中的表徵，以中、低碳鋼材料屬於此種典型，如圖 2(a) 及圖 2(b) 所示。若斷裂面呈平整且與試片長軸垂直者，表示其延展性差，而為脆性材料的表徵，以高碳鋼屬此典型，如圖 2(c) 所示。在圖 2 中 M 點表示為最大荷重處，也就是抗拉強度，而 F 點表示為試片斷裂處。

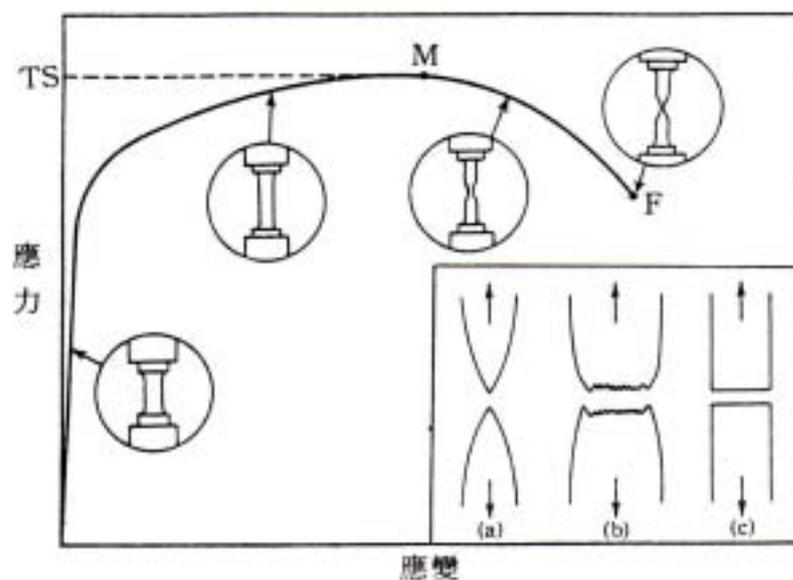
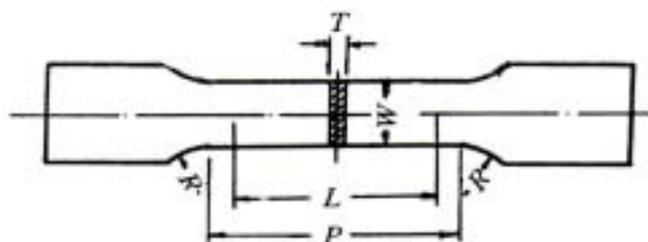


圖 2 試片在拉伸試驗時逐漸頸縮而斷裂的過程。
 插圖為延展性不同的斷裂面形狀。
 (a) 延展性最佳 (b) 延展性適中 (c) 延展性差(1)。

中國國家標準局所規定之金屬材料拉伸標準試片共有 14 種 (參考 CNS 2112、G 2014)，依其形狀及尺寸由以下分 1 號至 14 號試片規格 (2)。

1.1 號試樣

本試樣主要用於鋼板、扁鋼及型鋼之拉伸試驗。



試樣種類	標點距離 L	平行部長度 P	寬度 W	肩部半徑 R	厚度 T
1A	200	220	40	25 以上	原厚度
1B	200	220	25	25 以上	原厚度

厚度依原厚度為準，如原材料不能截取規定寬度時，其寬度得用可能製成之最大尺度。

2.2 號試樣

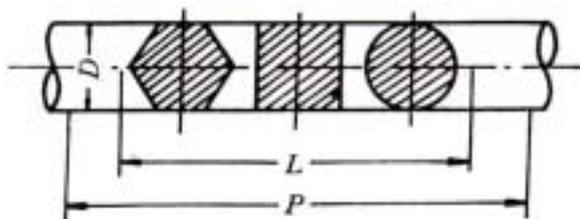
本試樣主要用於材料之標稱直徑 (或對邊距離) 為 25mm 以下之棒鋼之拉伸試驗。



直徑或對邊距離 D	標點距離 L	夾持距離 P
原材料	$L=8D$	$L+2D$

3.3 號試樣

本試樣主要用於材料之標稱直徑（或對邊距離）為超過 25mm 之棒鋼的拉伸試驗。



單位：mm

直徑或對邊距離 D	標點距離 L	夾持距離 P
原材料	$L=4D$	$L + 2D$

4.4 號試樣

本試樣主要用於鋼鑄件、鍛鋼件、軋鋼件、展性鑄鐵、球狀石墨鑄鐵及非鐵金屬（或其合金）之棒與鑄件之拉伸試驗。



單位：mm

直 徑 D	標點距離 L	平行部長部 P	肩部半徑 R
14	50	約 60	15 以上

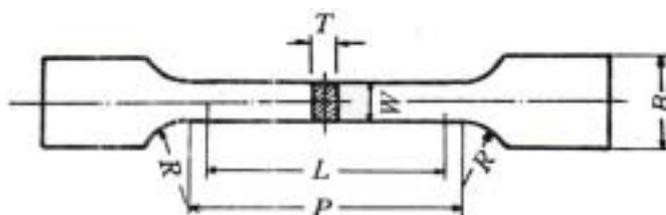
鋼製件及展性鑄鐵件以外之材料若不能依上列尺度製成時，得依下式決定平行部份之直徑與標點距離，此時之標點距離宜取整數值。

$$L = 4\sqrt{A_0} = 3.54D$$

A_0 為試樣平行部份之斷面積，D 為試樣之直徑

5.5 號試樣

本試樣主要用於管類、薄鋼板及非鐵金屬（或其合金）之板與型料之拉伸試驗。



單位：mm

寬 度 W	標點距離 L	平行部長度 P	肩部半徑 R	厚 度 T
25	50	60	15 以上	原厚度

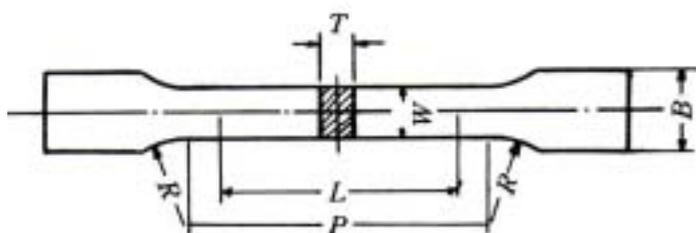
對於 3mm 以下之薄鋼片則採用

肩部半徑 $R=20\sim30\text{mm}$

夾持部份 $B=30\text{mm}$ 以上

6.6 號試樣

本試樣主要用於厚度為 6mm 以下之板料及型料之拉伸試驗。



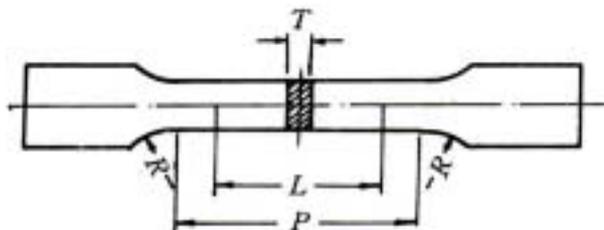
單位：mm

寬 度 W	標點距離 L	平行部長度 P	肩部半徑 R	厚 度 T
15	$8\sqrt{A_0}$	$L+約 10$	15 以上	原厚度

A_0 為試樣平行部份之斷面積

7.7 號試樣

本試樣主要用於抗拉強度較大之扁鋼、鋼板及方鋼之拉伸試驗。



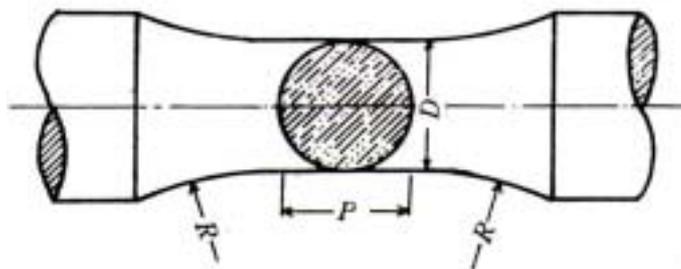
單位：mm

寬 度 W	標點距離 L	平行部長度 P	肩部半徑 R	厚 度 T
$\geq T$	$4\sqrt{A_0}$	約 1.2L	15 以上	原厚度

A_0 為試樣平行部份之斷面積

8.8 號試樣

本試樣主要用於一般鑄鐵件之拉伸試驗，依下表內所列之原試料鑄造尺度，切削製成平行部為直徑 D 之試樣。

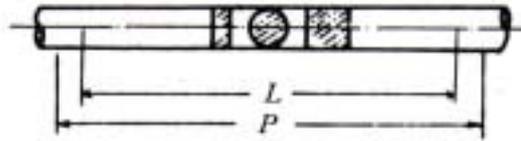


單位：mm

試樣種類	試料之鑄造 尺度(直徑)	平行部長度 P	直 徑 D	肩部半徑 R
8A	約 13	約 8	8	16 以上
8B	約 20	約 12.5	12.5	25 以上
8C	約 30	約 20	20	40 以上
8D	約 45	約 30	32	64 以上

9.9 號試樣

本試樣主要用於鋼線及非金屬（或其合金）線之拉伸試驗。

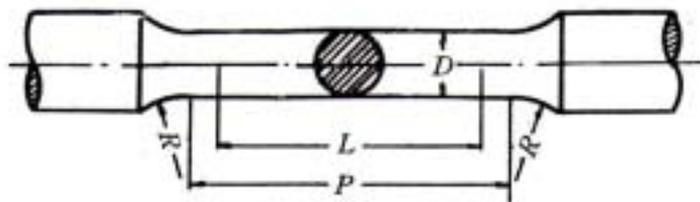


單位：mm

試樣種類	標點距離 L	夾持距離 P
9A	100	150 以上
9B	200	250 以上

10.10 號試樣

本試樣主要用於熔填（銲接）金屬之拉伸試驗。



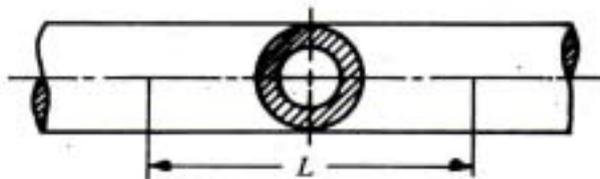
單位：mm

試樣種類	直 徑 D	標點距離 L	平行部長度 P	肩部半徑 R
10A	6	24	32	6 以上
10B	12.5	50	60	15 以上

熔填金屬平行部份須全部為熔填金屬。若其拉伸試樣不易依上列尺度製成時，得依試樣平行部份直徑與標點距離之關係 $L=4D$ ，製成試樣，此時標距宜取整數值。

11. 11 號試樣

本試樣主要用於管類按原管狀施行拉伸試驗。



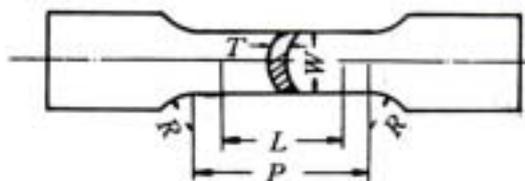
單位：mm

外 徑 D	標點距離 L	平行部長度 P
原材料	50	100 以上(銼平)

本試樣之斷面須為由原材料截取之狀態，且兩端夾緊部份須插入心軸或銼打扁平後，夾持在試驗機上，如銼平時其試樣之平行部份長度須為100mm 以上。

12. 12 號試樣

本試樣主要用於管類之不按原管狀施行拉伸試驗。



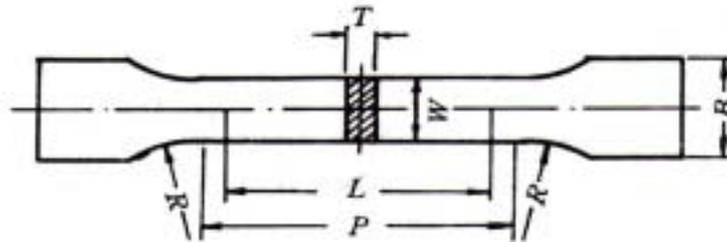
單位：mm

試樣種類	寬 度 W	標點距離 L	平行部長度 P	肩部半徑 R	厚 度 T
12A	19	50	約 60	15 以上	原管厚
12B	25	50	約 60	15 以上	原管厚
12C	38	50	約 60	15 以上	原管厚

試桿兩端之夾緊部份得在常溫下銼平之。

13.13 號試樣

本試樣主要用於板料之拉伸試驗。



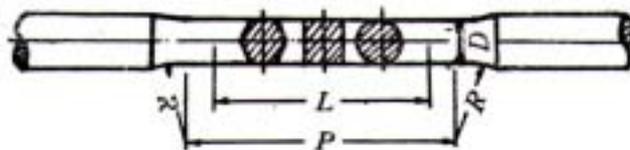
單位：mm

試樣種類	寬度 W	標點距離 L	平行部長度 P	肩部半徑 R	厚度 T	夾持部份寬度 B
13A	20	80	約 120	20 至 30	原厚度	—
13B	12.5	50	約 60	20 至 30	原厚度	20 以上

14.14 號試樣

(1) 14A 號試樣

本試樣主要用於鋼料之拉伸試驗。

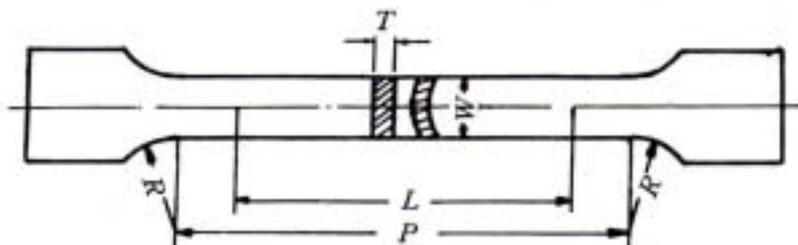


單位：mm

直徑或對邊距離 D	標點距離 L	平行部長度 P	肩部半徑 R
依材料標準之規定	圓形 5D 角形 5.65D 六角 5.26D	5.5D 至 7D	15 以上

(2) 14B 號試樣

本試樣主要用於鋼料及管類之不按原管狀施行拉伸試驗。



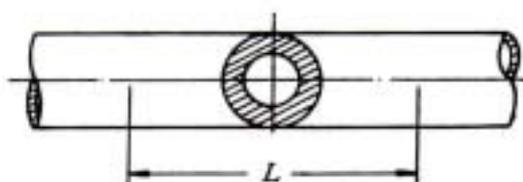
單位：mm

寬 度 W	標點距離 L	平行部長度 P	肩部半徑 R	厚 度 T
$<8T$	$5.65\sqrt{A_0}$	至 $L + 1.5\sqrt{A_0}$ $L + 2.5\sqrt{A_0}$	15 以上	原厚度

A_0 為試樣平行部份之斷面積

(3) 14C 號試樣

本試樣主要用於管類之按原管狀施行拉伸試驗。



標點距離 $L = 5.65\sqrt{A_0}$

A_0 為試樣平行部份之斷面積

(二) 衝擊試驗

衝擊試驗主要的目的是測定材料或銲後工件之韌性，而韌性是指材料受外力破壞，其單位面積所吸收能量的大小。由於衝擊試驗的結果，可以推算此材料或銲後工件的韌性、缺口感度及試驗溫度對材質影響等特性。

此外，可依此衝擊數據來決定那一種製造程序，可使此材料或銲後工件產生最佳之韌性，所以在銲接檢驗中，若比較銲件韌性的方法通常是採用衝擊試驗法。

在衝擊試驗法中可分為單衝擊與反覆衝擊兩類。凡是材料被衝擊一次就破斷者稱為單衝擊，而其破斷時所吸收的能量就稱為衝擊值。凡衝擊材料要多次才會破斷的情形稱為反覆衝擊，依反覆衝擊之次數來比較材料的韌脆性好壞。通常金屬材料的韌性測驗均用單衝擊試驗，而反覆衝擊試驗僅用於特殊材料。衝擊試驗因衝擊方式的不同，可分為擺錘式、落錘式及飛輪式三種，目前實驗室上最常採用擺錘式衝擊試驗機，如圖 3(a) 所示，而試驗機有夏比 (Charpy) 及艾氏 (Izod) 兩種試驗方法。在這兩種方法中，其主要不同處在於試片的缺口、支撐及衝擊部位。以夏比試驗來說，它的試片為鑰孔形成的缺口，且試片放置於衝擊支撐物之中間，如圖 3(b) 所示。而艾氏試驗法它的試片為 V 型的缺口，其試片缺口不在中間，需用虎鉗來夾緊一端，以便衝擊試片之上側部份，如圖 3(c) 所示。為何試片要有缺口呢？原因為韌性好的材料受衝擊後，只會使試片彎曲而不會斷裂，其吸收能量就無法算出，所以鑰孔缺口因係圓底，無法使能量大幅集中，故夏比試驗方法適合用於斷裂時吸收能量低的材料，而斷裂時吸收能量高的材料適合用艾氏試驗方法，或以具 V 型缺口之試片做夏比試驗方法為最佳。衝擊試驗其測溫度範圍，可將試片置於低溫液態液 -196°C 或置於高溫爐中，然後取出放置於支持檯上來衝擊試片，這樣可求得試片在不同溫度下其吸收能量值，在實驗上常做的溫度為 -196°C ， -150°C ， -100°C ， -60°C ， 0°C ，室溫， 60°C ， 100°C 等。

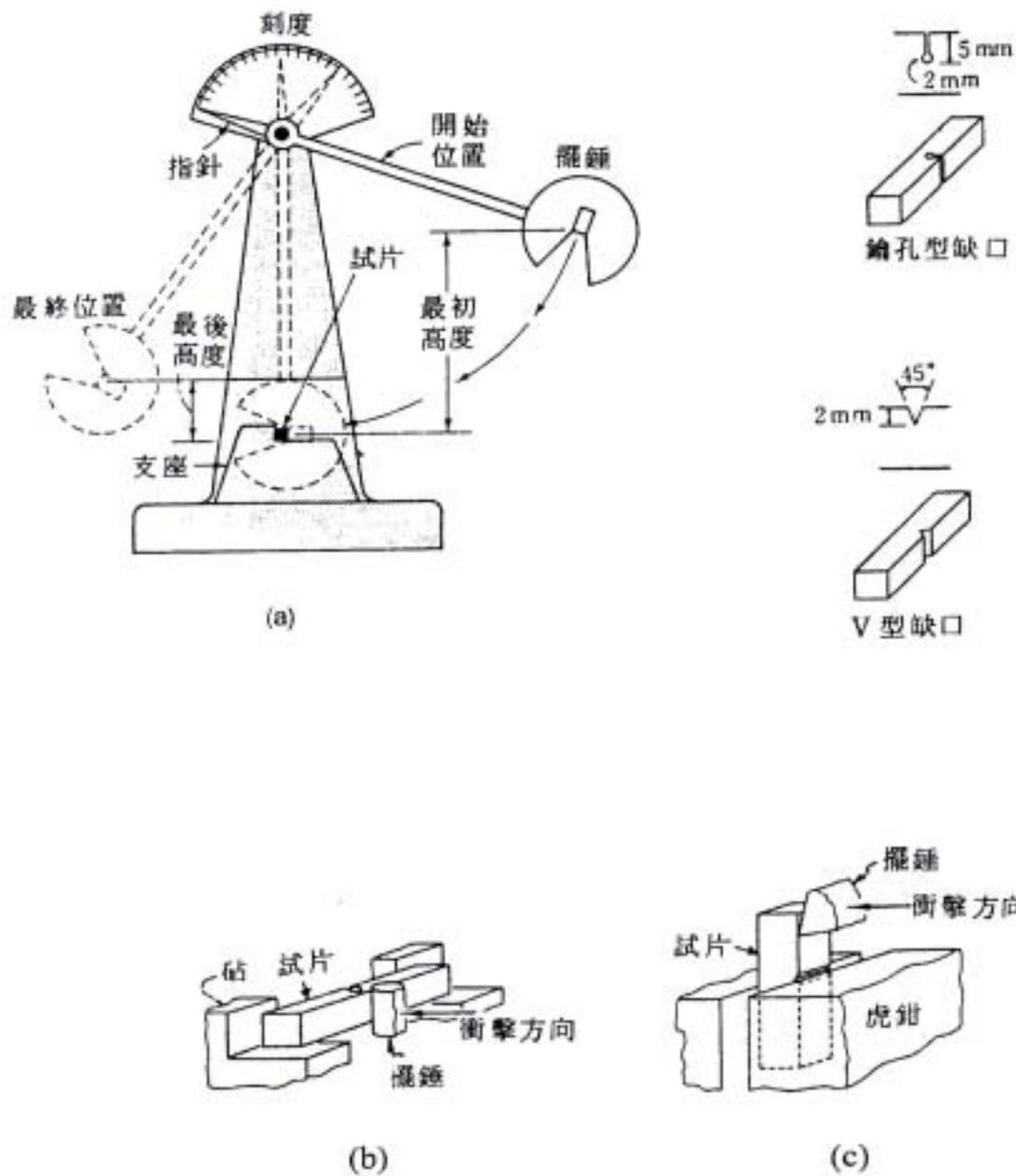


圖 3 衝擊試驗之(a) 示意圖 (b) 夏比試驗法及其有鑰孔型缺口之試樣 (c) 艾氏試驗法及其見有 V 型缺口之試樣 (3)

至於衝擊值的計算，是以試片斷裂時其單位面積所吸收能量值為準，也就是說擺錘在衝擊試片前後之高度差（位能差）來計算，所以衝擊試驗原理如圖 4 所示，先將擺錘提高至 h_1 的高度，此時其位能為 Wh_1 ，動能為 0，然後放開擺錘至衝斷試片後，擺錘擺到離試片 h_2 的高度，角度為 β ，此時動能仍然為 0，但是位能已經變成 Wh_2 ，所以兩次的位能差 $E=W(h_1-h_2)$ 就是所要求的衝擊值。

$$\begin{aligned} \text{衝擊所吸收的能量 } E &= Wh_1 - Wh_2 \\ &= WR(1 - \cos \alpha) - WR(1 - \cos \beta) \\ &= WR(\cos \beta - \cos \alpha) \end{aligned}$$

$$1. \text{ 夏比(charpy)衝擊值} = \frac{E}{\text{試片缺口之截面積}} \left(\frac{\text{kgf} \cdot \text{m}}{\text{cm}^2} \right)$$

$$2. \text{ 艾氏 (Izod) 衝擊值} = E \text{ (kgf} \cdot \text{m)}$$

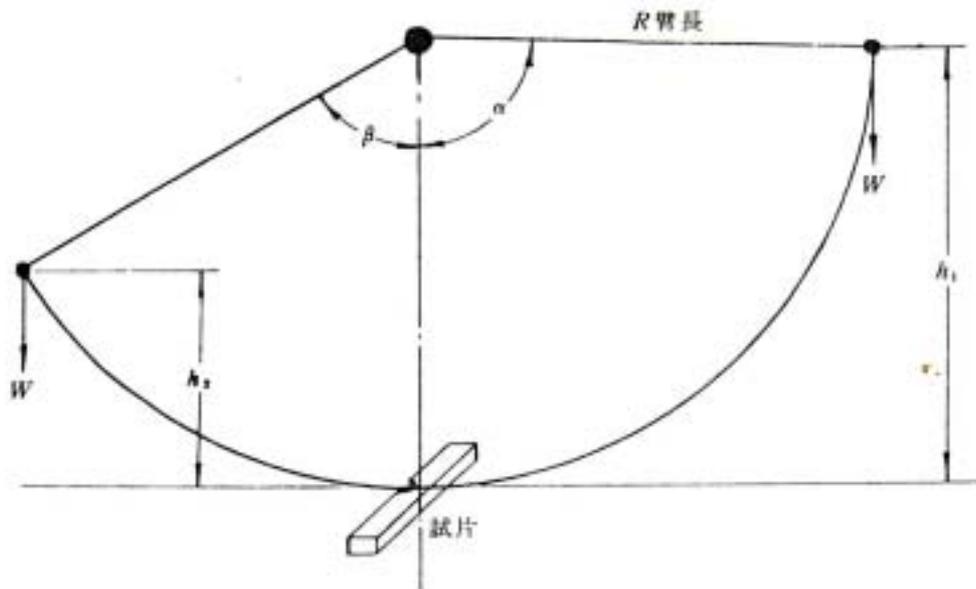


圖 4 衝擊試驗原理圖 (4)

(三) 硬度試驗

在材料的機械性質試驗中，硬度試驗的取樣及實作是最簡便最常用的一種，而硬度的測試其目的有二，一為由試驗中判知材料的硬度及抗拉強度，另一為肯定熱處理後材料是否有正確的硬度值。以下就列舉五種不同意義的硬度定義：

1. 壓痕硬度：受動力或靜力作用時之殘留壓痕變形之抵抗程度，常用有勃氏 (H_B)、洛氏 (H_R)及維克氏 (H_V) 等型硬度試驗機。
2. 反跳硬度：對於衝擊負載之能量所吸收之程度，如蕭氏硬度試驗機。
3. 劃痕硬度：對於劃痕之抵抗程度，如莫氏硬度試驗機。
4. 磨損硬度：對於磨損之抵抗程度，如試驗岩石的載佛磨損試驗機。
5. 切削硬度：對於切削及鑽孔之抵抗程度，如切削硬度試驗機。

以上各種硬度的試驗方法都有其實際用途，而目前工業最常用者為壓痕硬度及反跳硬度中的各種試驗機，其硬度分別稱之勃氏硬度、洛氏硬度、維克氏硬度及蕭氏硬度。

(1) 勃氏硬度

勃氏硬度試驗法，係將直徑 D (mm) 的硬鋼球，用一定的荷重 P (kg) 壓入試片表面，若除去荷重時所生成的壓痕直徑為 d (mm) 時，即可求出勃氏硬度值為：

$$H_B = \frac{2P}{\pi D(D - \sqrt{D^2 - d^2})} (\text{kg/mm}^2)$$

在勃氏硬度試驗法中，藉 10mm 直徑的硬鋼球或碳化物壓在試片上，而壓力可依材料的不同而改變，例如鋼鐵材料使用 3000kg 荷重，銅鋁等非鐵金屬材料使用 500kg 荷重，極軟的材料使用 100kg 荷重。至於荷重時間，鋼鐵材料為 15 秒較合宜，銅、鋁材料約需 30 秒，鎂材料約需 120 秒。圖 5 所示為勃氏硬度試驗機及鋼球壓痕之量測。

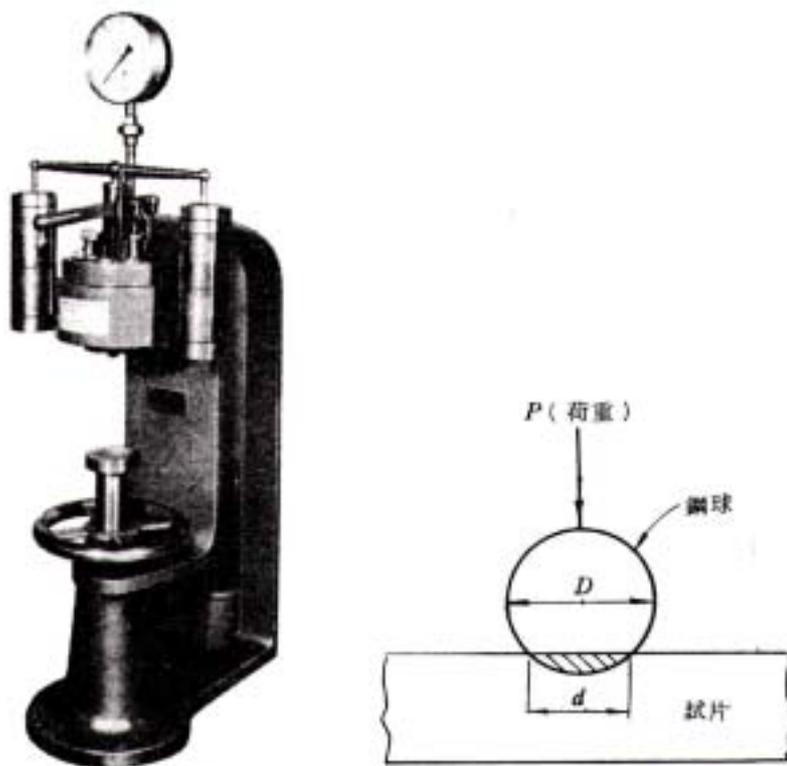


圖 5 勃氏硬度試驗機及鋼球壓痕之量測 (4)

(2) 洛氏硬度

洛氏硬度試驗法，係使用小鋼球（直徑 1.588mm）或金鋼石錐體（夾角 120° ，尖端為 0.2mm 半徑弧）加壓於試片表面上，其壓痕深度可直接由試驗機讀出其硬度值。洛氏硬度的標尺有多種，就以銲接試片上常用可分 B、C 兩種，對淬火鋼等硬度高的材料，通常使用金鋼石錐體來壓痕，所加荷重為 150kg，所形成的壓痕深度表示為洛氏 C 硬度，以 H_{RC} 表示。至於退火鋼、軟鋼、銅及鋁合金等軟質材料，使用小鋼球壓痕，所加荷重為 100kg，所以形成的壓痕深度表示為洛氏 B 硬度，以 H_{RB} 表示。圖 6 所示為洛氏硬度試驗機。

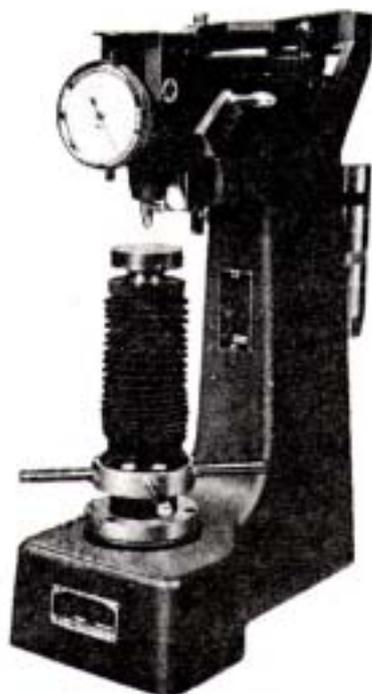


圖 6 洛氏硬度試驗機 (4)

(3) 維克氏硬度

維克氏硬度試驗法，係以一相對面角為 136° 的金鋼石四角錐為壓痕器，以一定的荷重壓入試片的表面，使其形成四角錐形壓痕。這時所加之荷重 $P(\text{kg})$ 以壓痕的四角錐形表面積 $A(\text{mm}^2)$ 除之，所得的商稱為維克氏硬度，以 H_V 表示之。

$$H_V = \frac{P}{A} = 2P \sin 68^\circ / d^2 = 1.8544 p / d^2$$

d 為壓痕在試片表面的對角線長度平均值(mm)。

常用的荷重有 5、10、20、30、50、100、120kg 等，此維克氏硬度試驗法所產生的壓痕很小，檢查方便，適用於很薄的金屬材料、表面硬化的材料及經過銲接過後的銲道檢查。如圖 7 所示為維克氏硬度試驗機及壓痕形狀。

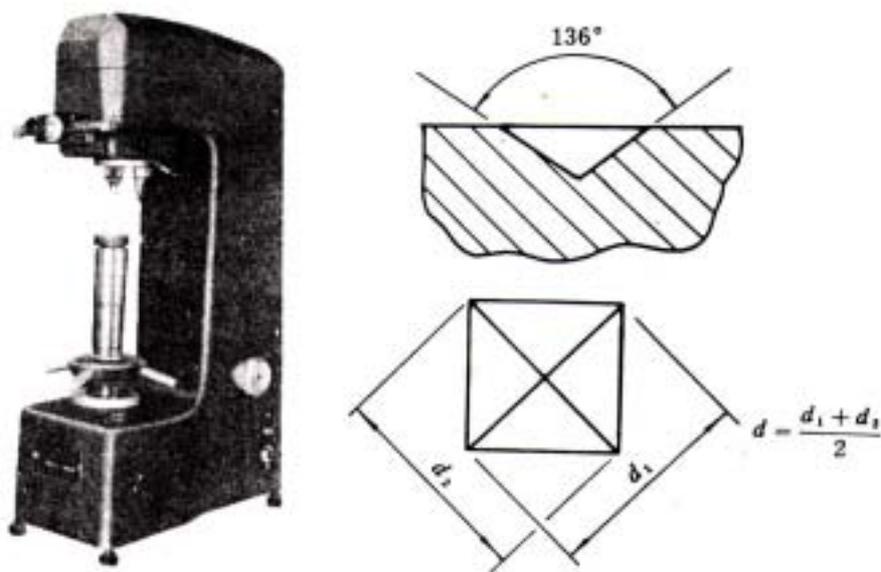


圖 7 維氏硬度試驗機及壓痕形狀圖 (4)

(4) 蕭氏硬度

蕭氏硬度試驗法，係以將尖端嵌有小金鋼石之圓形小撞錘，由一定高度 h_0 落下，使試片產生壓痕後反跳至某一高度 h ，則蕭氏硬度值以 H_s 表示，其硬度值表示方式如下：

$$H_s = \frac{10000}{65} \times \frac{h}{h_0}$$

蕭氏硬度試驗法最大優點為迅速且不傷試片表面，所以測試方便。

圖 8 所示為蕭氏硬度試驗機。

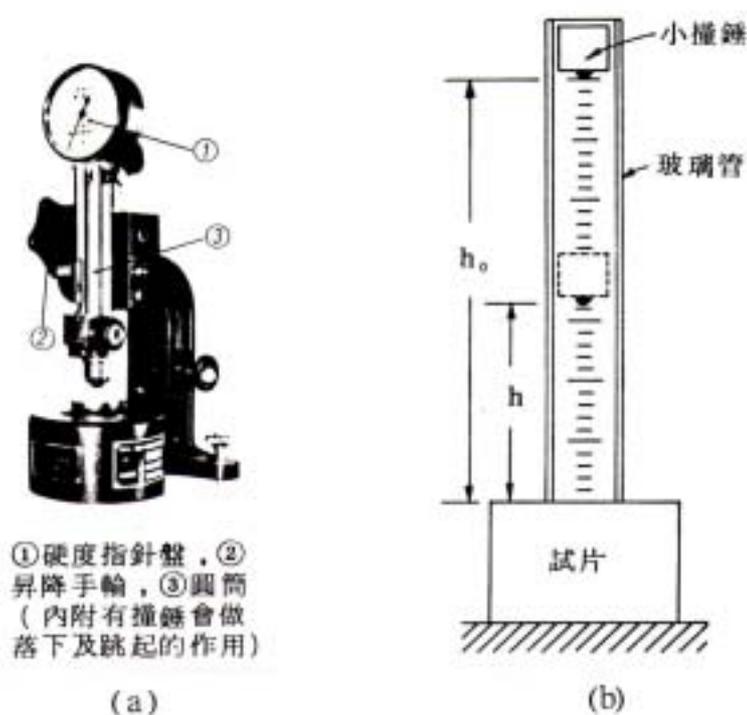


圖 8 蕭氏硬度試驗機 (a) 示意圖 (b) 原理圖 (3)

(四) 金相試驗

金相試驗在銲接部份而言，是將銲件切成試片，利用圖 9 所示流程製成試片，分別以肉眼或電子顯微鏡觀察銲件內部的組織變化。一般以肉眼或 20 倍以下的放大鏡所觀察的方法稱為巨觀試驗，而以電子顯微鏡察的方法則稱為微觀試驗。利用金相試驗可觀察有關銲道內部組織變化的情形，如銲蝕或銲淚，氣孔或夾雜，龜裂，銲道是否滲透，銲珠大小及斷面形狀等。

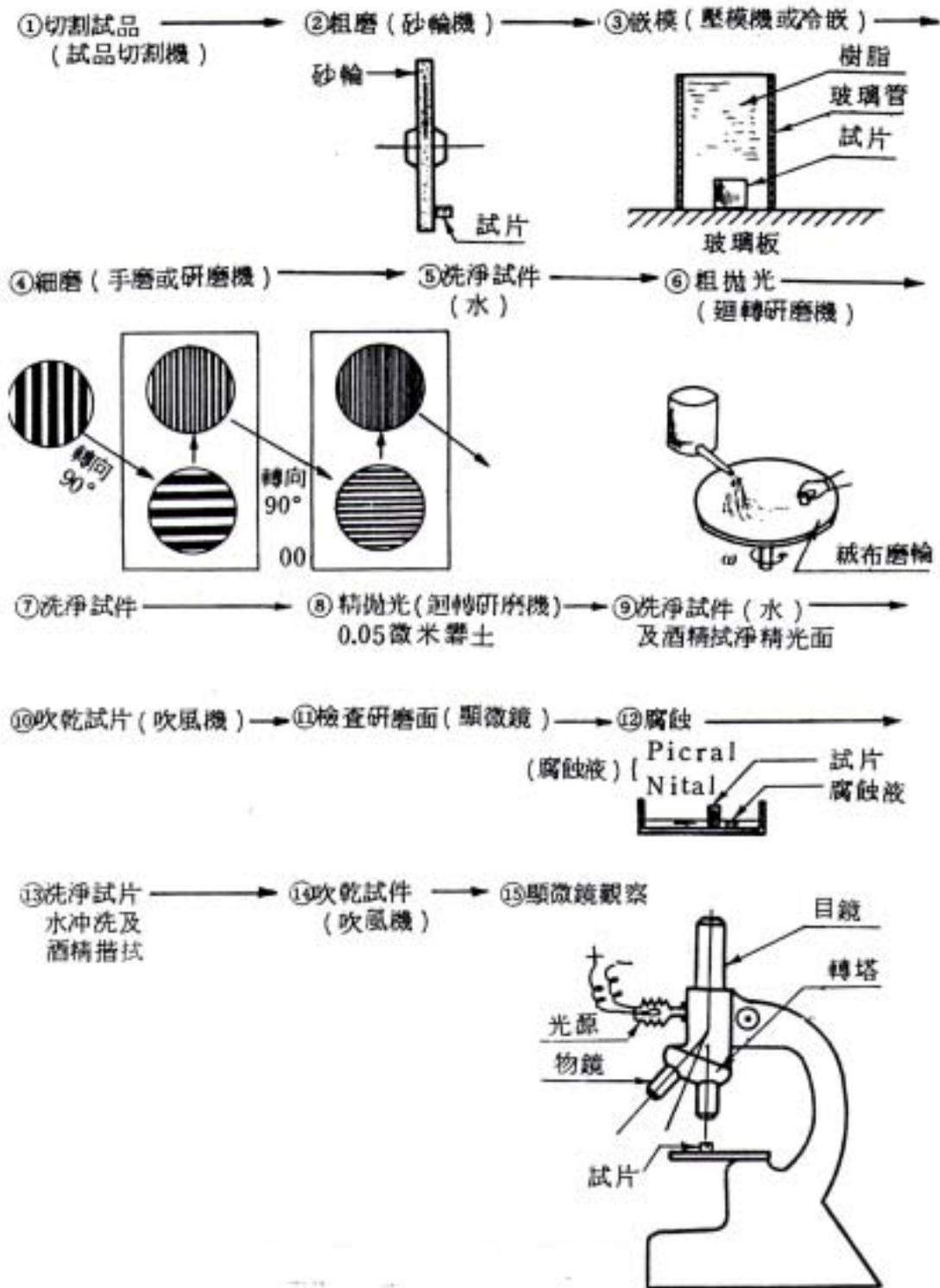


圖 9 金相試驗流程圖 (5)

學習評量一：

你能在不翻閱參考資料或書籍的情況下，正確地列寫出五種以上的銲接常用的破壞性檢驗方法。

答案：

拉伸試驗、彎曲試驗、衝擊試驗、硬度試驗、疲勞試驗、潛變試驗、金相試驗、水壓試驗、

假如你的答案與上述之重點相符，請翻到第 29 頁，假如你的答案不與上述之重點相符，則請閱讀第 4 頁所列之參考書籍，或請翻至第 7 頁重新閱讀以便發現你的錯誤之處，並將第 27 頁上的錯誤改正，然後翻至下一頁。

本單元的第二個學習目標是：

你能夠在不使用參考書籍下，正確地列舉出銲接常用之技能檢定彎曲試驗法。

一、彎曲試驗分類

彎曲試驗法之目的在測試銲接後，銲件的延性，並檢驗銲件是否因母材、銲道及熱影響區之間的缺陷，而導致龜裂或折斷，此方法目前常用於銲接工程方面，其彎曲試驗大致分自由彎曲試驗及導彎試驗兩大類，尤其導彎試驗是國內銲接技能檢定必測的方法。

(一) 自由彎曲試驗

自由彎曲試驗的方法是將銲接後，試片上之銲道突出部份利用加工磨平、打光、倒圓角，使其圓角半徑不可超過原來試片厚度的 1/10，如圖 1(a) 所示。然後在距離銲接接頭兩邊 1.5mm 的地方劃兩條平行線，並記錄下所量兩線垂直之距離 X mm，再將試片兩端的全長 1/3 地方，利用 V 型模或直接彎成 $30\sim 40^\circ$ ，如圖 1(b) 所示，再把試片裝於試驗機上，施壓至試片兩邊接觸為止，如圖 1(c) 所示。而此自由彎曲試驗完成後可量測其伸長率，及查核有無裂縫，進行判斷銲件的好壞。其銲件經自由彎曲後之伸長率百分比為：

$$\frac{X_1 - X}{X} \cdot 100\%。$$

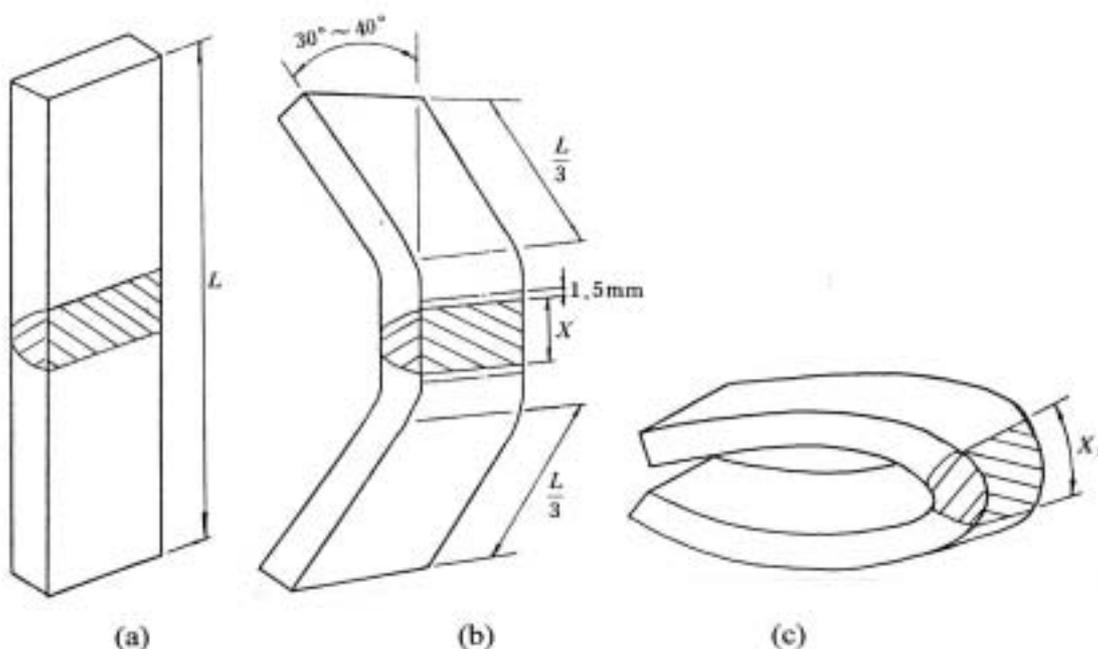


圖 1 自由彎曲試驗 (1)

(二) 導彎試驗

導彎試驗是將銲接後試片，經加工完成而置於陰陽模間，以電動式油壓或手動式油壓方式施壓於公模上，使試片在陰陽模間彎曲而成的一種試驗方法，如圖 2(a)所示。一般試驗皆以電動油壓式較為快速簡便。通常銲件做導彎試驗分 (1)面彎 (face bending) (2)背彎 (root bending) (3)側彎 (side bending)，如圖 2(b)所示。銲道表面最靠近陰模者稱為面彎，銲道根部最靠近陰模者稱為背彎，銲道兩側面以較差之一面靠近陰模者稱為側彎。三種彎曲試片都需把銲件邊緣倒半徑小於 $1/6$ 板厚的圓角。

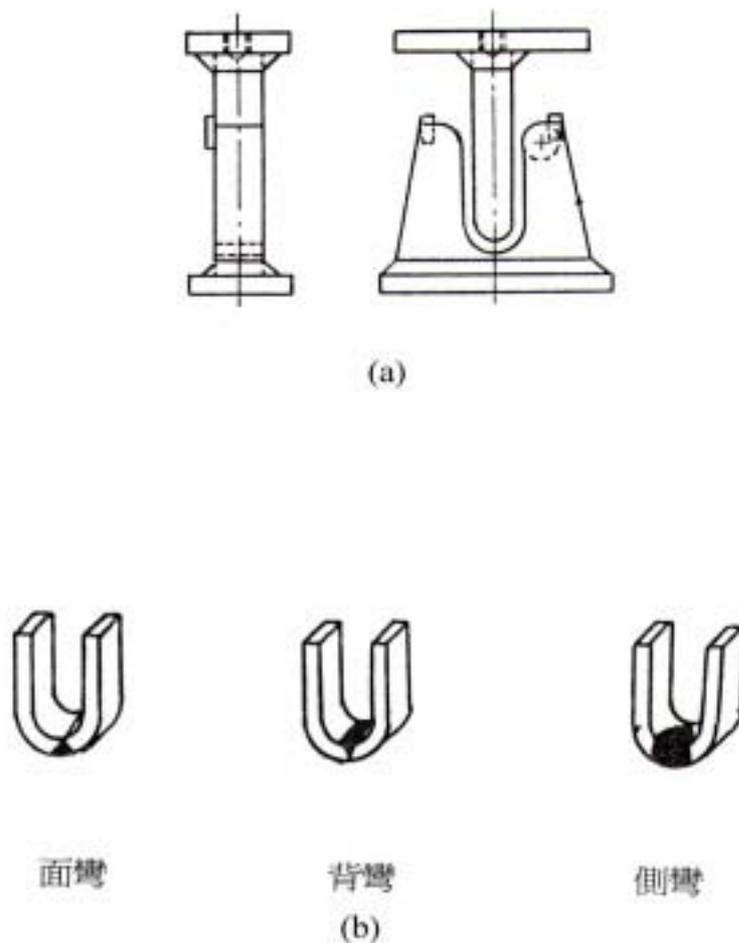


圖 2 導彎試驗 (a) 壓模型式 (b) 試片模式

二、銲接常用之技能檢定彎曲試驗法

(一) 一般手工電銲

一般手工電銲技術士技能驗定彎曲試驗規範如下 (7)：

1. 一般手工電銲技術士技能檢定各種檢定位置所取試片型式及數量表如下所列：

檢定工作名稱	檢定位置	技能代號	彎曲試片之數量		
			面彎	背彎	側彎
A1 碳鋼薄板 有墊板對接	(1) 平銲對接	(A1F2)	1	1	
	(2) 橫銲對接	(A1H2)	1	1	
	(3) 立銲對接	(A1V2)	1	1	
	(4) 仰銲對接	(A1O2)	1	1	
A2 碳鋼薄板 無墊板對接	(1) 平銲對接	(A2F3)	1	1	
	(2) 橫銲對接	(A2H3)	1	1	
	(3) 立銲對接	(A2V3)	1	1	
	(4) 仰銲對接	(A2O3)	1	1	
B1 碳鋼厚板 有墊板對接	(1) 平銲對接	(B1F4)			2
	(2) 橫銲對接	(B1H4)			2
	(3) 立銲對接	(B1V4)			2
B2 碳鋼厚板 無墊板對接	(5) 平銲對接	(B2F4)			2
	(6) 橫銲對接	(B2H4)			2
	(7) 立銲對接	(B2V4)			2
	(8) 仰銲對接	(B2O4)			2
C1 碳鋼薄管 有襯環對接	(1) 管軸垂直固定對接	(C1VF3)	2	2	
	(2) 管軸水平固定對接	(C1HF3)	2	2	
	(3) 管軸 45°固定對接	(C1VH3)	2	2	
C2 碳鋼薄管 無襯環對接	(1) 管軸垂直固定對接	(C2VF3)	2	2	
	(2) 管軸水平固定對接	(C2HF3)	2	2	
	(3) 管軸 45°固定對接	(C2VH3)	2	2	
D1 碳鋼厚管 有襯環對接	(1) 管軸垂直固定對接	(D1VF4)	2	2	
	(2) 管軸水平固定對接	(D1HF4)	2	2	
	(3) 管軸 45°固定對接	(D1VH4)	2	2	
D2 碳鋼厚管 無襯環對接	(1) 管軸垂直固定對接	(D2VF4)	2	2	
	(2) 管軸水平固定對接	(D2HF4)	2	2	
	(3) 管軸 45°固定對接	(D2VH4)	2	2	

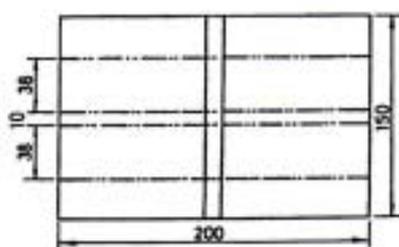
2. 試片製作

- (1) 彎曲試片應用機械切削，若用氧乙炔火焰切割時，試片兩邊受熱部份至少應銹去 3.2 公厘。
- (2) 用砂輪機或銹床將試片銲道表面及背面高出部份磨平或銹平，切勿損及試片本身及銲蝕部份。
- (3) 試片加工方向應與銲道垂直。
- (4) 試片邊緣四角應稍加磨圓（其最大半徑詳試片尺寸圖示）。

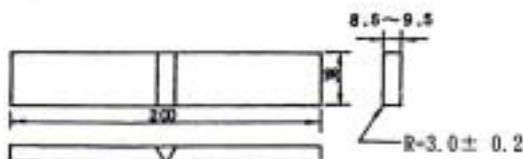
3. 各種試片尺寸（單位公厘）

(1) A 類薄板

試片切取位置及尺寸

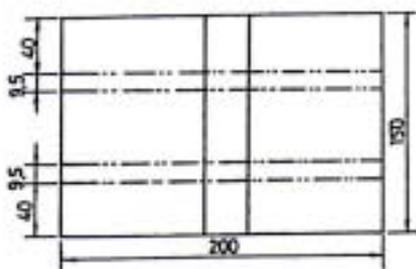


試片加工尺寸：

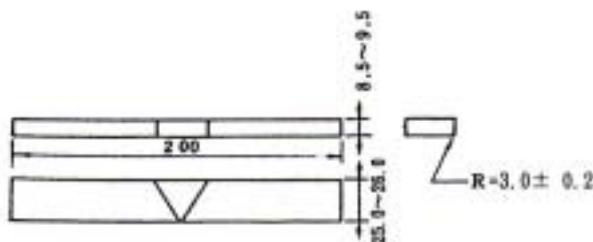


(2) B 類厚板

試片切取位置及尺寸：

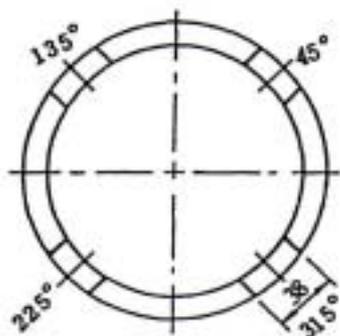


試片加工尺寸：

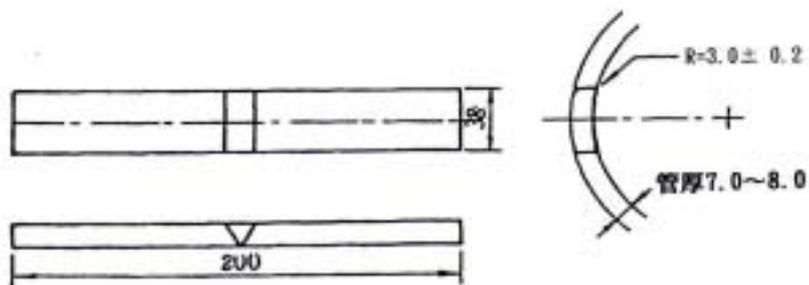


(3) C 類薄管

試片切取位置及尺寸：

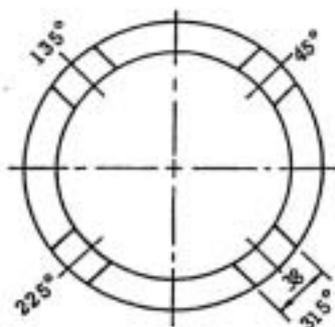


試片加工尺寸：

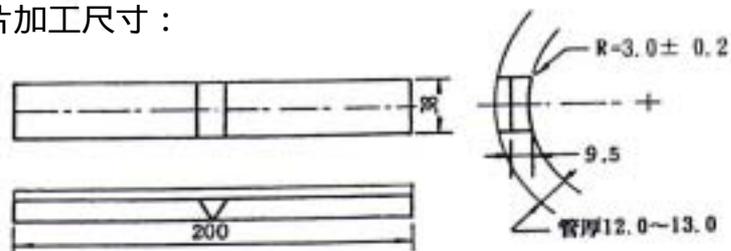


(4) D 類厚管

試片切取位置及尺寸：

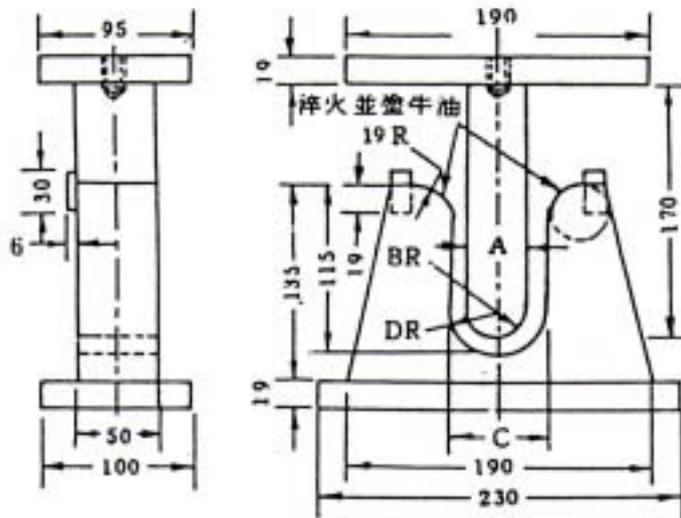


試片加工尺寸：



4. 彎曲試驗模具規格表及合格標準

面彎、背彎及側彎之試片，皆置於彎曲模內進行彎曲試驗，彎曲鐵模使用之尺寸，可參考下圖：



試片厚度 mm	Amm	BRmm	Cmm	DRmm
8.5~9.5	38	19	60	30
t	4t	2t	6t+3	3t+1.5

試驗進行時，將試片水平放在陰模之兩肩，銲道中心正置於兩肩等距離之處。在面彎試驗時，試片面需在陰模之側；背彎試驗時，銲面需在陽模之側。若係側彎試驗，以截面所見銲接情形較差之一面，置於陰模之側。當加壓於陽模時，彎曲試片於陰模與陽模之間彎曲，直至陽模之曲面部份與試片之間隙小於 3.2 公厘為止。

試片經彎曲試驗彎曲後，試片凸面任何方向（包括銲道及熱影響區）之裂紋總長不得超過 3.2 公厘，則認為合格。彎曲試驗時，試片若自角部產生裂紋，而該項裂紋若顯然並非由於夾渣或其他瑕疵所引起，則不影響試驗結果。

(二) 氬銲鎢極電銲

氬氣鎢極電銲技術士技能檢定彎曲試驗規範如下 (8)：

1. 氬氣鎢極電銲技術士技能檢定各種檢定位置所取試片型式及數量表如下所列：

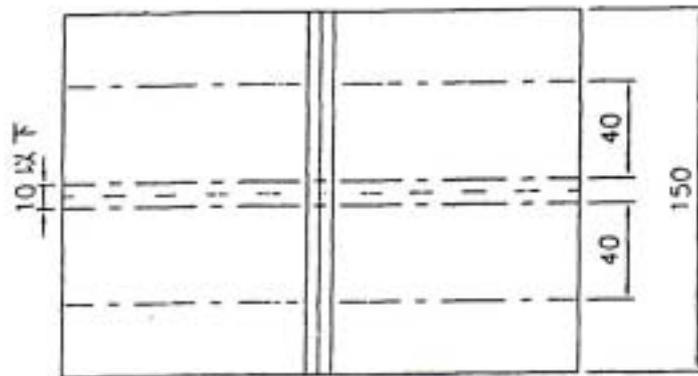
檢定工作名稱	檢定位置	技能代號	導彎試片之數量	
			面彎	背彎
S 類 碳鋼薄板	(1) 平銲對接	S-F-01	1	1
	(2) 橫銲對接	S-H-01	1	1
	(3) 立銲對接	S-V-01	1	1
	(4) 仰銲對接	S-O-01	1	1
T 類 碳鋼薄管	(1) 管軸垂直固定對接	T-VF-01	2	2
	(2) 管軸水平固定對接	T-HF-01	2	2
	(3) 管軸 45°固定對接	T-VH-01	2	2
C 類 碳鋼薄管	(1) 管軸垂直固定對接	C-VF-01	2	2
	(2) 管軸水平固定對接	C-HF-01	2	2
	(3) 管軸 45°固定對接	C-VH-01	2	2
S 類 低合金鋼薄板	(1) 平銲對接	S-F-02	1	1
	(2) 橫銲對接	S-H-03	1	1
	(3) 立銲對接	S-V-03	1	1
	(4) 仰銲對接	S-O-03	1	1
T 類 低合金鋼薄板	(1) 管軸垂直固定對接	T-VF-03	2	2
	(2) 管軸水平固定對接	T-HF-03	2	2
	(3) 管軸 45°固定對接	T-VH-03	2	2
C 類 低合金鋼薄板	(1) 管軸垂直固定對接	C-VF-03	2	2
	(2) 管軸水平固定對接	C-HF-03	2	2
	(3) 管軸 45°固定對接	C-VH-03	2	2
S 類 不銹鋼薄板	(1) 平銲對接	S-F-08	1	1
	(2) 橫銲對接	S-H-08	1	1
	(3) 立銲對接	S-V-08	1	1
	(4) 仰銲對接	S-O-08	1	1
T 類 不銹鋼薄板	(1) 管軸垂直固定對接	T-VF-08	2	2
	(2) 管軸水平固定對接	T-HF-08	2	2
	(3) 管軸 45°固定對接	T-VH-08	2	2
C 類 不銹鋼薄板	(1) 管軸垂直固定對接	C-VF-08	2	2
	(2) 管軸水平固定對接	C-HF-08	2	2
	(3) 管軸 45°固定對接	C-VH-08	2	2
S 類 鋁薄板	(1) 平銲對接	S-F-21	1	1
	(2) 橫銲對接	S-H-21	1	1
	(3) 立銲對接	S-V-21	1	1
	(4) 仰銲對接	S-O-21	1	1
T 類 鋁薄管	(1) 管軸垂直固定對接	T-VF-21	2	2
	(2) 管軸水平固定對接	T-HF-21	2	2
	(3) 管軸 45°固定對接	T-VH-21	2	2

2. 試片製作

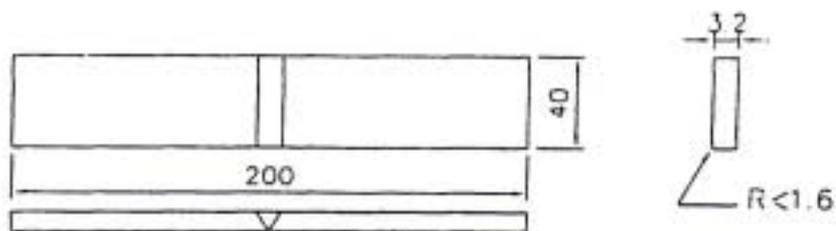
- (1) 導彎試片應用機械切削，若用氧、乙炔火焰切割時，試片兩邊受熱部份至少應鉋去 3.0 公厘。
- (2) 用砂輪機或鉋床將試片銲道表面及背面高出部份磨平或鉋平，切勿損及試片本身及銲蝕部份。
- (3) 試片加工方向應與銲道呈垂直。
- (4) 試片邊緣四角應稍加磨圓（其最大半徑詳如試片尺寸圖示）。

3. 各種試片尺寸（單位公厘）

(1) S 類薄板

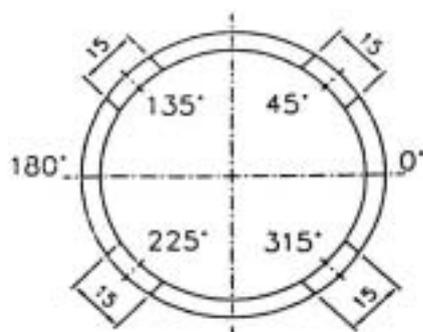


試片加工尺寸：



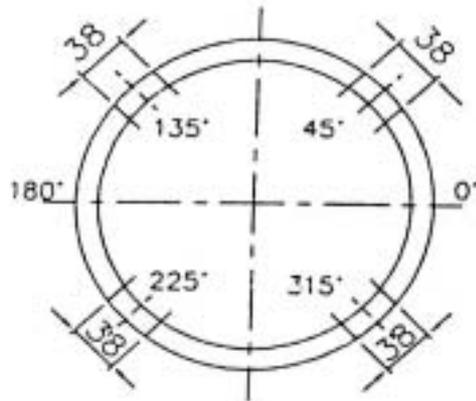
(2) T 類薄管

試片之切取位置及尺寸：



(3) C 類薄管

試片之切取位置及尺寸：



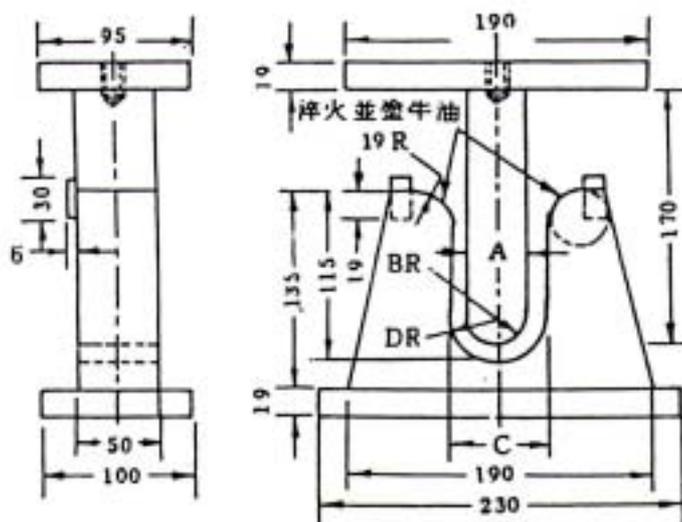
試片加工尺寸：



圖示係背彎試片磨去面側
若係面彎試片磨去背側

4. 彎曲試驗模具規格表及合格標準

面彎及背彎之試片，皆置於導彎模內進行導彎試驗，導彎鋼模使用之尺寸，可參考下圖：



模具尺寸	試片厚度 mm	Amm	Bmm	Cmm	Dmm
標準型	3.2	12.8 (21.0)	6.4 (10.5)	22.4 (31.0)	11.2 (15.5)
標準型	5.5	22 (37.0)	11 (18.5)	36.2 (51.0)	18.1 (25.5)
標準型	7.1	28.4	14.2	45.8	22.9

(括弧內之尺寸，為鋁板及鋁管用導彎鋼模尺寸)

檢定進行時，將試片水平放在陰模之兩肩，銲道中心正置於兩肩等距離之處。在面彎試驗時，試片銲面需要在陰模之側，背彎試驗時，銲面需在陽模之側。若係側彎試驗，則以截面所見銲接情形較差之一面，置於陰模之側。當加壓於陽模時，導彎試片於陰模與陽模之間彎曲，直至陽模之曲面部份與試片之間隙小於 3.2mm 為止。

試片經導彎試驗彎曲後，試片凸面任何方向（包括銲道及熱影響區）之裂紋總長不得超過 3.2mm 則認為合格。導彎試驗時，試片若自角部產生裂紋，而該項裂紋若顯然並非由於夾渣或其他瑕疵所引起，則不影響試驗結果。

(三) 半自動電銲

半自動電銲技術士技能檢定彎曲試驗規範如下(9)：

1. 半自動電銲技術士技能檢定各種檢定位置所取試片型式及數量表如下所列：

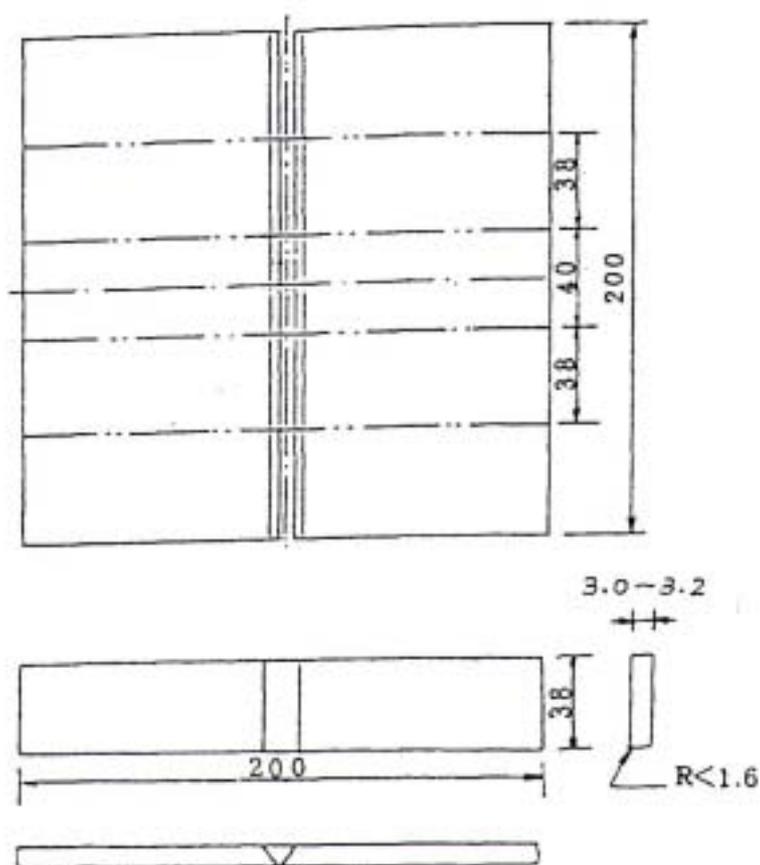
檢定工作名稱	檢定位置	技能代號	彎曲試片之數量		
			面彎	背彎	側彎
S2 碳鋼薄板 無墊板對接	(5) 平銲對接	(S2F)	1	1	
	(6) 橫銲對接	(S2H)	1	1	
	(7) 立銲對接	(S2V)	1	1	
	(8) 仰銲對接	(S2O)	1	1	
A1 碳鋼薄板 有墊板對接	(1) 平銲對接	(A1F)	1	1	
	(2) 橫銲對接	(A1H)	1	1	
	(3) 立銲對接	(A1V)	1	1	
	(4) 仰銲對接	(A1O)	1	1	
A2 碳鋼薄板 無墊板對接	(1) 平銲對接	(A2F)	1	1	
	(2) 橫銲對接	(A2H)	1	1	
	(3) 立銲對接	(A2V)	1	1	
	(4) 仰銲對接	(A2O)	1	1	
B1 碳鋼厚板 有墊板對接	(1) 平銲對接	(B1F)			2
	(2) 橫銲對接	(B1H)			2
	(3) 立銲對接	(B1V)			2
B2 碳鋼厚板 無墊板對接	(1) 平銲對接	(B2F)			2
	(2) 橫銲對接	(B2H)			2
	(3) 立銲對接	(B2V)			2
	(4) 仰銲對接	(B2O)			2
T2 碳鋼薄管 無襯環對接	(1) 管軸垂直固定對接	(T2VF)	2	2	
	(2) 管軸水平固定對接	(T2HF)	2	2	
	(3) 管軸 45°固定對接	(T2VH)	2	2	
C1 碳鋼薄管 有襯環對接	(1) 管軸垂直固定對接	(C1VF)	2	2	
	(2) 管軸水平固定對接	(C1HF)	2	2	
	(3) 管軸 45°固定對接	(C1VH)	2	2	
C2 碳鋼薄管 無襯環對接	(1) 管軸垂直固定對接	(C2VF)	2	2	
	(2) 管軸水平固定對接	(C2HF)	2	2	
	(3) 管軸 45°固定對接	(C2VH)	2	2	
D1 碳鋼厚管 有襯環對接	(1) 管軸垂直固定對接	(D1VF)	2	2	
	(2) 管軸水平固定對接	(D1HF)	2	2	
	(3) 管軸 45°固定對接	(D1VH)	2	2	
D2 碳鋼厚管 無襯環對接	(1) 管軸垂直固定對接	(D2VF)	2	2	
	(2) 管軸水平固定對接	(D2HF)	2	2	
	(3) 管軸 45°固定對接	(D2VH)	2	2	

2. 試片製作

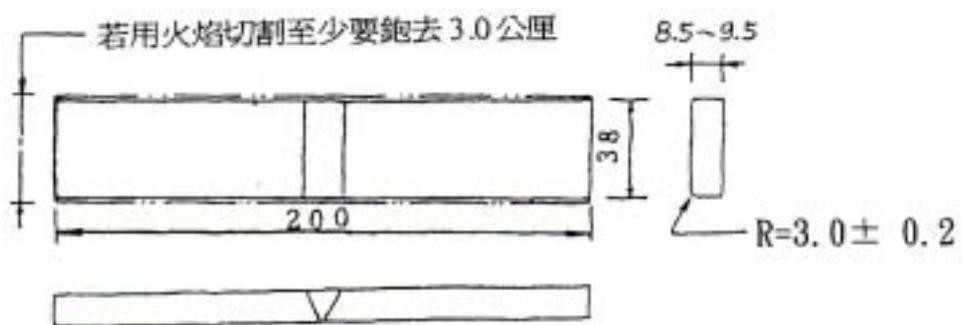
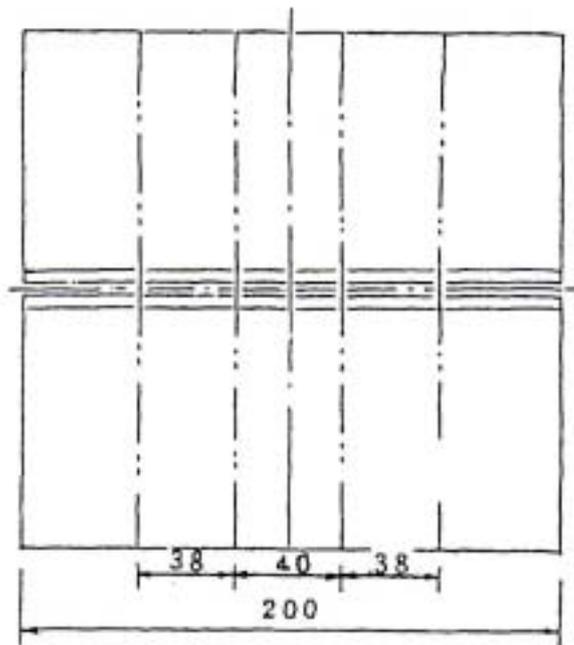
- (1) 導彎試片應用機械切削，若用氧乙炔火焰切割時，試片兩邊受熱部份至少應銹去 3.0 公厘以上。
- (2) 用砂輪機或銹床將試片銲道表面及背面高出部份磨平或銹平，切勿損及試片本身及銲蝕部份。
- (3) 試片加工方向應與銲道呈垂直。
- (4) 試片邊緣四角應稍加磨圓（其最大半徑詳如試片之圖示）。

3. 各種試片尺寸（單位公厘）

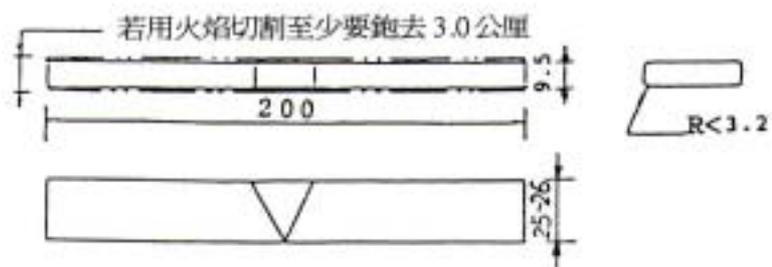
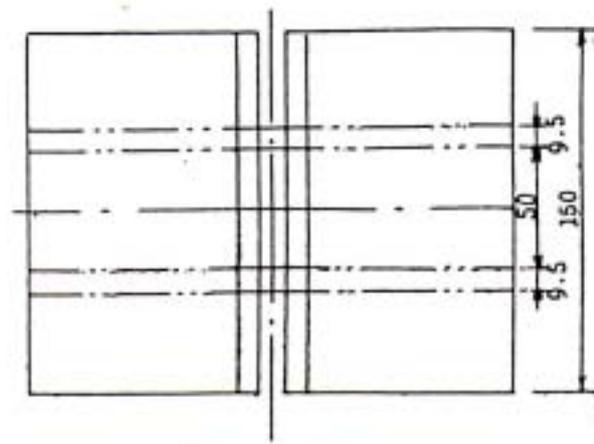
(1) S 類薄板



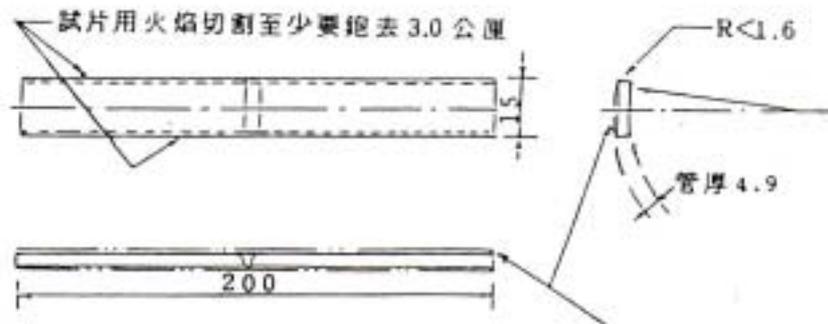
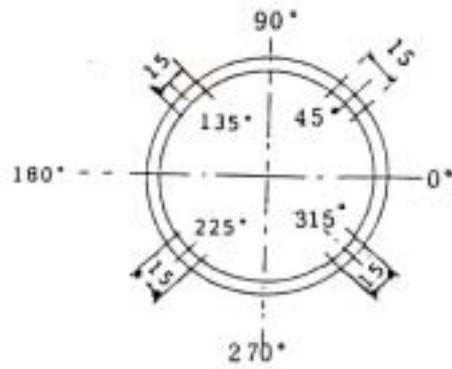
(2) A 類薄板



(3) B 類厚板

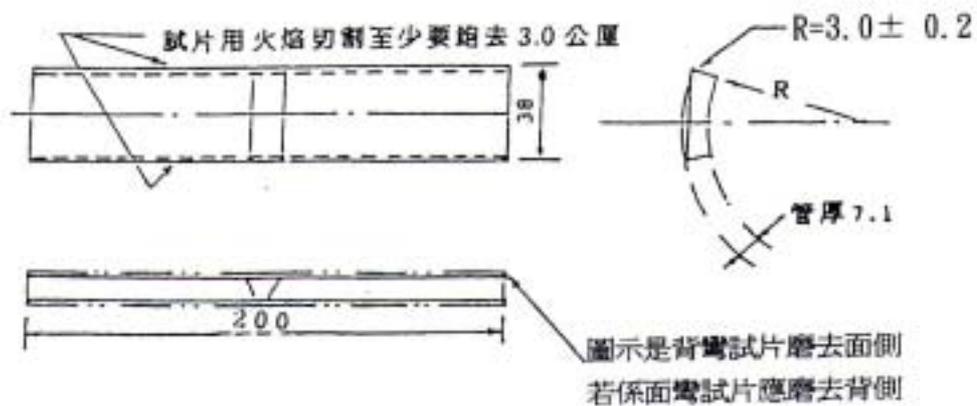
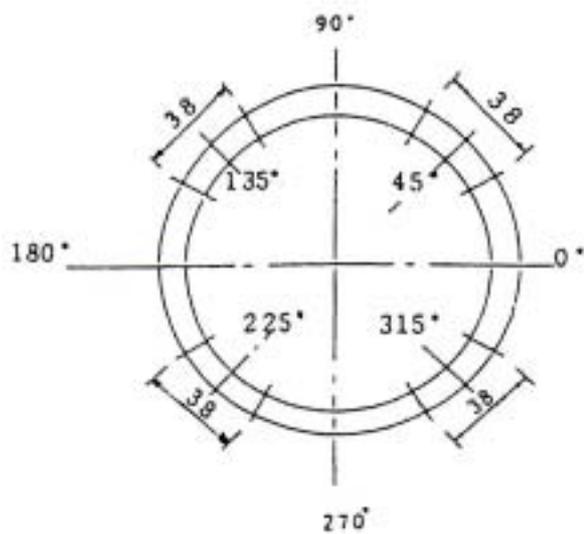


(4) T 類薄管

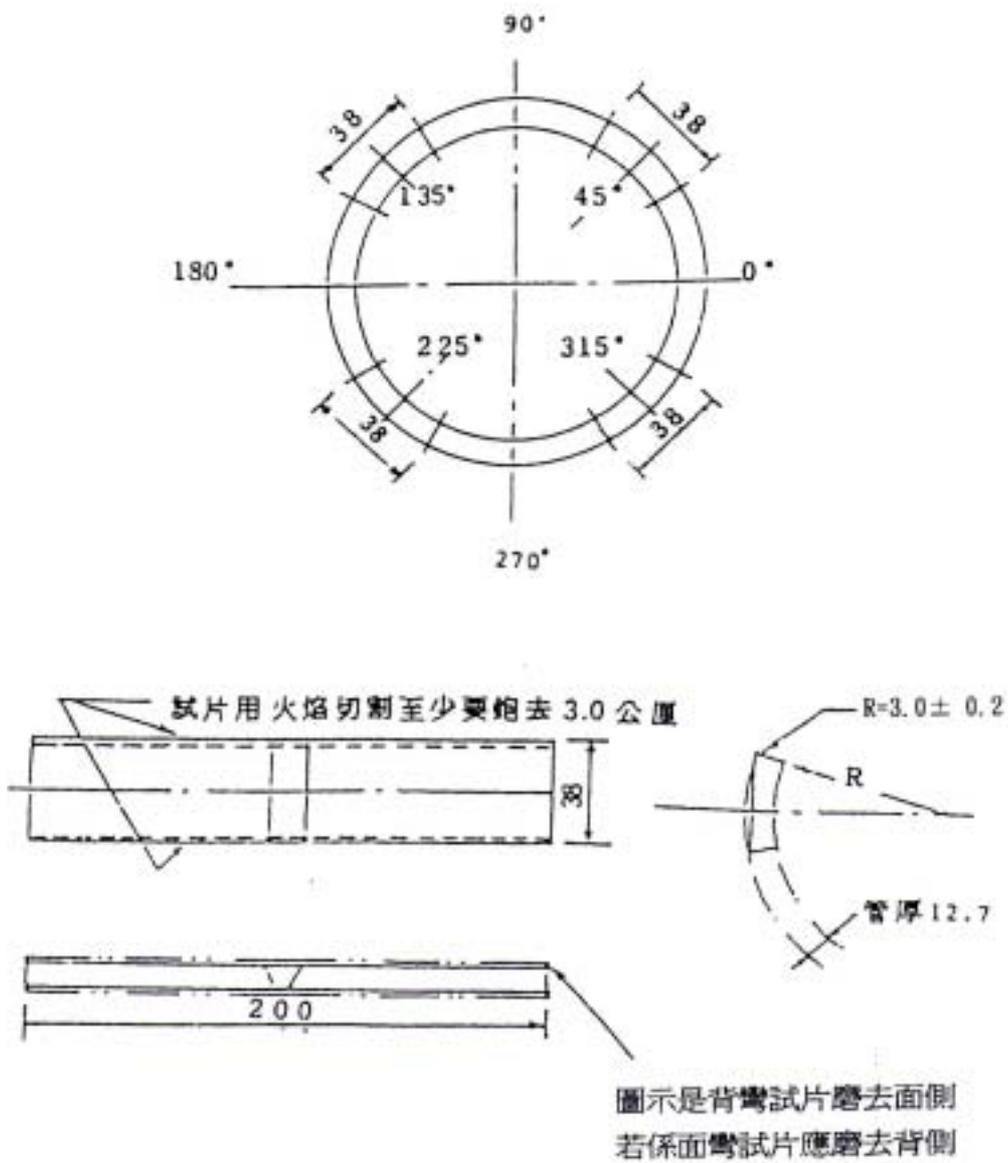


圖示是背彎試片磨去面側
若係面彎試片應磨去背側

(5) C 類薄管

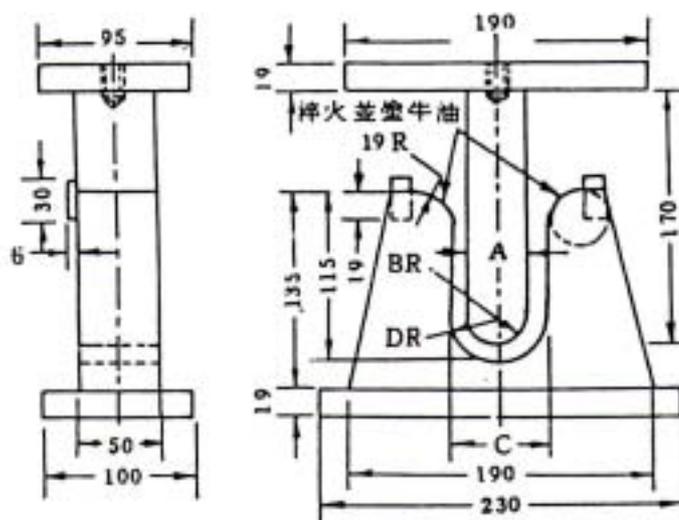


(6) D 類厚管



4. 彎曲試驗模具規格表及合格標準

面彎、背彎及側彎之試片，皆置於導彎模內進行導彎試驗，導彎鐵模使用之尺寸，可參考下圖：



模具尺寸	試片厚度 mm	Amm	Bmm	Cmm	Dmm
標準型	3.2	12.8	6.4	22.2	11.1
	4.9	19.6	12.8	32.4	16.2
	7.1	28.4	14.2	45.6	22.8
	9.5	38.0	19.0	60.0	30.0
	t	4t	2t	6t+3	3t+1.5

試驗進行時，將試片水平放在陰模之兩肩，銲道中心正置於兩肩等距離之處。在面彎試驗時，試片銲面需要在陰模之側；背彎試驗時，銲面需在陽模之側。若係側彎試驗，則以截面所見銲接情形較差之一面，置於陰模之側。當加壓於陽模時，導彎試片於陰模與陽模之間彎曲，直至陽模之曲面部份與試片之間隙小於 3.2mm 為止。

試片經導彎試驗彎曲後，試片凸面任何方向（包括銲道及熱影響區）之裂紋總長不得超過 3.2mm 則認為合格。導彎試驗時，試片若自角部產生裂紋，而該項裂紋若顯然並非由於夾渣或其他瑕疵所引起，則不影響試驗結果。

答案：

- 一、可分為自由彎曲試驗及導彎試驗。
- 二、面彎、背彎、側彎。

假如你的答案與上述之重點相符，請翻到第 52 頁做學習後總評量，假如你的答案不與上述之重點相符，則請閱讀第 4 頁所列之參考書籍，或請翻至第 30 頁重新閱讀以便發現你的錯誤之處，並將第 49 頁上的錯誤改正，然後翻至第 52 頁，做破壞性檢驗方法學後評量。

現在你已認識銲接檢驗方法之破壞性檢驗方法，假如你仍未完全熟悉，請重覆學習本教材第 5 頁到第 50 頁直到熟悉為止，若有困難去請教你的老師，直至完全熟悉到你能勝任學習目標所列之能力為止。

學後評量

一、請在不翻閱參考資料或書籍的情況下，正確地說明所謂破壞性檢驗法和非破壞性檢驗法之意義。

二、選擇題

請不要參閱資料或書籍，在下列各題之括弧內，寫出正確的答案。

1. () 下列何者為不屬於破壞性檢驗法 (1)拉伸 (2)超音波 (3)衝擊 (4) 硬度試驗。
2. () 試片經彎曲試驗後其裂紋總長不得超過 (1)3.2 (2)4.2 (3)5.2 (4) 6.2 公厘。
3. () 檢查銲道韌性時應採用 (1)拉伸 (2)超音波 (3)衝擊 (4) 硬度試驗。
4. () 電銲技能檢定中，薄板彎曲試片的寬度是 (1)9.5 (2)19 (3)25 (4) 38 公厘。
5. () 電銲技能檢定中，薄管彎曲試片的寬度是 (1)9.5 (2)19 (3)25 (4) 38 公厘。
6. () 彎曲試驗時，銲道表面最靠近陰模者稱為 (1)側彎 (2)背彎 (3)面彎 (4)自由彎。
7. () 彎曲試驗時，銲道根部最靠近陰模者稱為(1)側彎 (2)背彎 (3)面彎 (4)自由彎。
8. () 利用圓形小撞錘由一定高度落下，以反跳高度決定硬度為 (1)洛氏 (2)維克氏 (3)蕭氏 (4)勃氏硬度試驗。
9. () 破壞性檢驗法簡稱 (1)DT (2)NDT (3)NDI (4)NDE。
10. () 彎曲試片加工時，其加工方向應與銲道方向呈 (1)平行 (2)垂直 (3)交錯 (4)斜向。

參考文獻

1. 機械材料(新修訂版), 金重勳編著, 復文書局, P.98。
2. 機械工程實驗 (I) – 材料實驗, 陳長有、許振聲、陳伯宜編著, 全華科技圖書有限公司, p.265-272。
3. 機械材料(修訂版), 機械材料編輯委員會編著, 高立圖書有限公司, P.105-106。
4. 熔接學, 陳志鵬編著, 全華科技圖書有限公司, p.215-220。
5. 機械工程實驗 (I) – 材料實驗, 陳長有、許振聲、陳伯宜編著, 全華科技圖書有限公司, p.123。
6. 熔接學, 陳志鵬編著, 全華科技圖書有限公司, p.213-214。
7. 技能檢定規範之四, 一般手工電銲, 行政院勞委會職訓局編印, p.20-23。
8. 技能檢定規範之九十一, 氬氣鎢極電銲, 行政院勞委會職訓局編印, p.30-34。
9. 技能檢定規範之九十七, 半自動電銲, 行政院勞委會職訓局編印, p.24-31。