

金相顯微浸蝕術對鋼結構材料檢驗的重要性

和春技術學院工業工程與管理系助理教授

薪傳國際管理顧問公司顯微金相訓練課程講師

中華民國鋼結構協會出版委員會委員 ◆ 謝之駿

一、前言

一般來說，鋼結構件檢驗方式有螢光檢驗、放射性檢驗、磁粉探傷及超音波檢驗等方法，上述檢驗方法能夠檢驗出裂縫、孔洞、或是表面及次表面的缺陷。但是若是鋼結構材料於熔煉或二次加工時就出現問題，因而造成鋼結構材料於後續使用上發生材料劣化或人員傷亡及財產上的危害。以金屬材料科學的觀點，必須使用金相顯微浸蝕術對鋼結構材料進行檢驗，可以檢驗出材料本身於前段熔煉、鑄造、鍛造、軋延..等過程中因操作不當所造成的缺陷，以下將針對鋼結構材料的金相浸蝕術的製備方法及技巧做一系列的介紹。

二、鋼鐵材料的「材料」、「組織」、「性質」、「製程」間的關係

其實鋼鐵材料的製造過程依順序大致包含:原料、煉鐵、煉鋼、軋鋼等四大生產系統，每一個生產系統都不可忽略，若原料雜質過多，煉出來的鋼鐵會不純，且性質差，而若有好的原料，但沒有好的煉鐵、煉鋼、軋鋼技術，同樣也會影響後續的性質，所以鋼鐵的前段生產過程若沒有掌握住每一個生產系統的要領，當當板材、塊材、線材被應用於鋼結構用途，如:橋樑、建築物、大樓..等，會導致重大的災害。當我們取得板材、塊材、線材時，鋼鐵材料的性質大致上已經抵定，若要改變性質，只能從後續的二次加工處理才能做小幅度的改善，二次加工處理包含:熱處理、軋延、鍛造、衝壓..等。因而金相顯微浸蝕術對於預測鋼結構材料在生產過程中所遭遇的問題，扮演一個重要的角色。

鋼結構材料係屬金屬材料的其中一種，而金相顯微浸蝕術目的在於觀察鋼結構材料的顯微組織，因為從顯微組織中可以預測鋼結構材料所歷經的製程及最終的性質，所以「材料」、「組織」、「性質」、「製程」之間呈現一種因果關係，如圖 1 所示。鋼鐵材料經過不同的製程，會造就不同的性質，然而這是因為內部具有不同組織所致。亦即若材料內部有麻田散鐵的組織，因麻田散鐵為鋼鐵材料中硬度最高的主相，若經過不同的製程能保留較多的麻田散鐵，鋼結構材料就會有較高的強度及硬度。相反地，若能保留較多的沃斯田鐵，則能使鋼結構材料維持相當的韌性。但是過多的麻田散鐵組織也是不允許的，因為會使鋼結構材料呈現脆性，所以必須控制麻田散鐵及沃斯田鐵組織維持相當的比例，才能同時擁有強度及韌性，因鋼結構材料用於橋樑時，有時必須呈現反覆的循環應力，若只強調強度，也不注重其韌性，則結構物的使用壽命就會衰減。所以鋼結構材料的設計考量上必須把顯微組織考量進去，才能設計出耐用且優良的鋼結構材料。



圖 1 鋼鐵材料中「材料」、「組織」、「性質」、「製程」的因果關係

三、金相顯微浸蝕術之製備技術

3.1 取樣(Sampling)

鋼結構材料取材的位置不同，會存在不同的顯微組織，這是因為熔煉或是後續熱處理會造成不同位置的凝固速率不一樣所導致，所以取材的位置格外重要，根據所要觀察的位置做取材動作，倘若取材位置選擇錯誤，觀察到的金相顯微組織就會有結果誤判的情況出現。故取材也是金相中一門重要的階段，若盲目無目的地取材，將會一步錯，步步錯，即使後面的處理階段沒失誤，也是徒勞無功。如圖 2 所示，一個中空鑄錠會因為取樣位置不同，而顯現不同的顯微組織，這是因為材料在鑄造過程中內外部的凝固速率不同所致

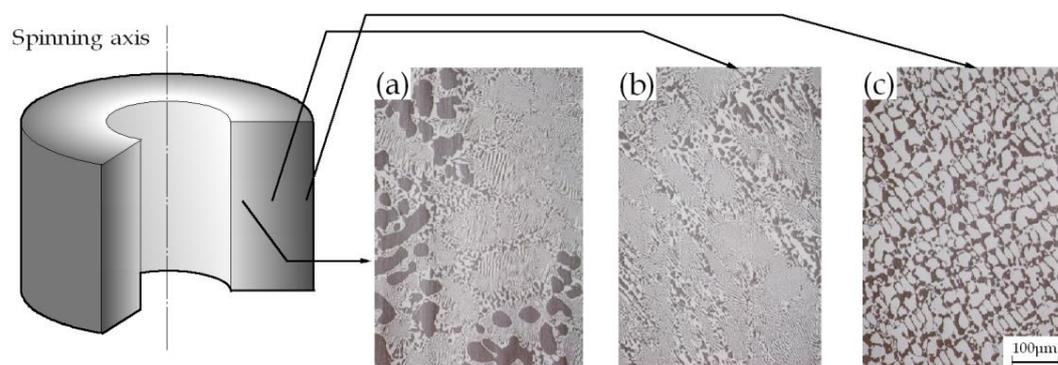


圖 2 不同位置的金相取樣

3.2 切割(Cutting)

取材位置選擇完後，接下來便是切割，要如何切割也是一門學問，切割一般可分為:剪切、鋸床切割、慢速切割、快速切割..等，常用的快速切割機及慢速切割機如圖 3 所示。一般而言，快速切割機是切割體積及厚度較大的材料，而慢速切割機則是切割體積小且硬度較高的材料。而當材料很薄時，可以直接用剪切的

方式直接裁剪。若材料面積較大、較厚時，用鋸床切割成較小且可以放進去切割機中，之後再針對取材位置做細部切割。



慢速切割機



快速切割機

圖 3 金相的切割設備

3.3 鑲埋

鑲埋係將切割好的試片，以樹脂加硬化劑倒入特定規格的模具，等待凝固後將之脫膜取出，此過程稱為冷鑲埋。鑲埋的目的是為了後續研磨動作時，方便拿持試片，以利研磨的進行，才不會因為不好拿持試片，而在研磨過程試片因為離心力而被拋出去。鑲埋還有一個作用就是保存試片，以便之後若需要再做金相觀察做分類。鑲埋完成如圖 4 的照片所示。

若要觀察較小面積的橫截面，為了讓試片能夠立起來，方便後續的金相觀察，可以使用特定用途的夾具將試片固定於夾具中間，之後倒入樹脂及硬化劑，待冷卻後即可脫膜取出，如圖 5 所示。



圖 4 冷鑲埋

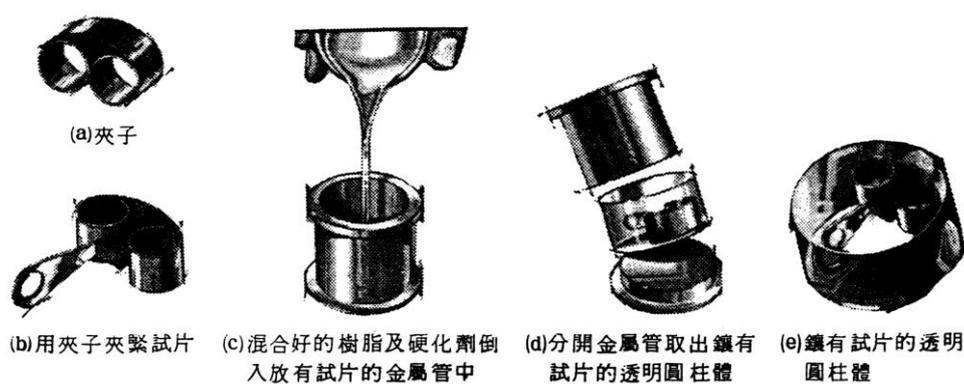


圖 5 橫截面試片觀察冷鑲埋方法步驟示意圖

3.4 粗磨(Coarse grinding)

粗磨的作用係利用低號數砂紙將不平的金相試片之表面整平，一般低號數砂紙有:#100、#200、#400、#600、#800 等號數的砂紙，而粗磨的低號數砂紙有較粗大的磨料顆粒。粗磨還有一個直接作用為將觀察面的樹脂磨掉，使之裸露出金屬面，以便後續研磨動作。但粗磨會在金屬表面留下某個固定方向的粗刮痕，必須倚靠後續的細磨的步驟將之消除。粗磨階段若需要換砂紙號數時，必須等金屬面均勻呈現一個方向性的粗刮痕，須轉 90 度並更換下一張砂紙研磨，轉 90 度的目的為消除前一張砂紙的研磨痕跡，使下一張砂紙的研磨方向能夠蓋過前一張砂紙的方向，如圖 6 的研磨示意圖所示。

3.5 細磨(Fine grinding)

精磨的目的為利用高號數的砂紙消除粗磨所留下的刮痕，一般高號數砂紙有:#1000、#1200、#1500、#2000、#2500 等號數的砂紙。若是研磨金相的技巧沒有很純熟，研磨的轉速不宜太快，以免試片因為旋轉力拿持不穩而減低砂紙的壽命，因高號數砂紙的單價較低號數砂紙高，若是以常規的研磨方法可以延長砂紙的使用壽命。細磨同樣會在金屬試片上留下刮痕，但是刮痕呈現許多的細刮痕。

研磨技巧為先將試片研磨至刮痕同一方向後，再將試片轉 90° 繼續研磨，同一張砂紙大致來回轉 90° 至 2~4 次，之後就可以換下一張砂紙，依此方向循序漸進從粗砂紙研磨至細砂紙完成整個研磨過程。而每一種不同號數的砂紙，具有不同的粒徑，粒徑數字越大，在研磨的過程中有較多的磨屑，亦即為粗磨，如表 1 所示，240~800 號砂紙有較大的粒徑，屬於粗磨的範圍，而 1000~2500 號有較小的粒徑，屬於細磨的範圍。

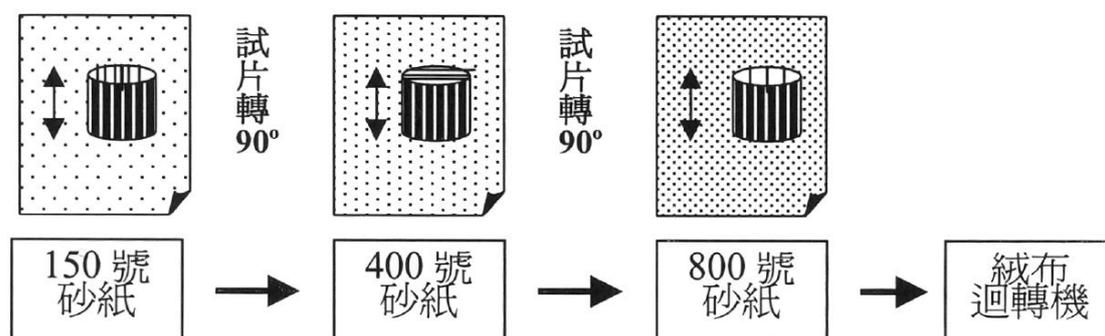


圖 6 金相研磨技巧(粗磨與細磨)

表 1 砂紙號數與對應的平均粒徑

砂紙號數	平均粒徑 (μm)
240	58.5
280	52.2
320	46.2
360	40.5
400	35.0
500	30.2
600	25.8
800	21.8
1000	18.3
1200	15.3
1500	12.6
2000	10.3
2500	8.4

3.6 拋光(Polishing)

金相觀察的表面必須呈現鏡面的狀態，故利用拋光的技術將細磨後的細刮痕除去，使金屬表面成為鏡面。拋光係利用拋光布配合拋光粉或拋光液進行拋光作業，在拋光的過程中加入拋光粉或拋光液，拋光粉可分為氧化鋁(Al_2O_3)、氧化鎂(MgO)、氧化鉻(Cr_2O_3)等三種，如表 2 所示。一般均使用氧化鋁(Al_2O_3)為多數，此三種拋光粉具有將刮痕拋除的效果。拋光方法為將研磨拋光機換上拋光布，再將機器調至旋轉狀態，將試片以與轉盤旋轉方向相反的方向進行拋光，因為逆方向拋光有較佳的拋光效果，如圖 7 所示。拋光完的試片必須呈現鏡面的狀態，亦即為無刮痕狀態，才算是完成整個拋光動作。

表 2 拋光粉的選用技巧

種類	莫式硬度	顆粒大小	溶劑	適用材質
氧化鋁(Al_2O_3)	9	0.3~1.5 μm	水 or 酒精	任何材質
氧化鎂(MgO)	5	0.05 μm	水 or 酒精	MgO or Al
氧化鉻(Cr_2O_3)	-	0.05 μm	水 or 酒精	鋼 or 鑄鐵



圖 7 拋光的實景與技巧

3.7 浸蝕(Etching)

浸蝕為金相製備的最後也是最重要的步驟，浸蝕係利用化學藥劑將鏡面的金屬腐蝕，使表面產生均勻的凹凸不平，不同金屬必須調配不同的浸蝕液配方，配方最好在試片還未做金相處理前就先選定，否則此步驟失敗的話，可能需要重新研磨及拋光，而花費不必要的時間與耗材的損失。表 3 為碳鋼、低合金鋼、中合金鋼常用的浸蝕配方。金屬的化學浸蝕通常是利用硝酸、鹽酸、硫酸與其它化學藥劑混合調配，這是屬於強酸浸蝕法。另外還有一種盛行於歐洲的彩色浸蝕術，

是使用化學藥粉添加去離子水的方式，加熱至 85°C~100°C，然後將化學藥粉倒入沸騰的水溶液中，然後將拋光後的試片置入溶液中，待試片表面變色後，使用木夾將試片取出，後以吹風機吹乾浸蝕後的試片。

表 3 碳鋼、低合金鋼、中合金鋼的浸蝕配方

名稱	組成	摘要
硝酸酒精溶液(natal)	硝酸 1~5cc+乙醇或甲醇 100cc	碳鋼、低合金鋼、中間合金鋼鑄鐵等的一般組織數 see 1min.
苦味酸酒精溶液(picral)	苦味酸 4g+乙醇 100cc	碳鋼、若干合金鋼及鑄鐵的淬火回火組織，但不腐蝕肥粒鐵相，不顯示其粒界、回火鋼 10~20see，淬火鋼維 1min 以上，正常組織維 30see~2min.
酸性苦味酸的酒精溶液	鹽酸 15cc+苦味酸 1g+乙醇或甲醇 100cc	適於顯出沃斯田鐵結晶粒，淬火及回火鋼，比苦味酸溶液迅速腐蝕，也有的用硝酸 1cc+苦味酸 4cc+酒精若干，也用於 Fe-Cr，Fe-Cr-Ni，Fe-Cr-Mn 合金.
鹽酸	鹽酸(濃) 1cc+水 100cc	用於淬火鋼，加 500cc 水，也再弱電流用於電解腐蝕.
苦味酸鈉的酒精溶液	苦味酸 2g+苛性鈉 25g+水 100cc (Kourbatoff)	適於鐵鋼中雪明碳鐵及其他碳化物的著色，試料在此溶液中加熱 5~min(80°C)，則雪明碳鐵會從褐色變黑色。此液的做法是史苛性鈉 25g 溶於水 60~70cc，再加苦味酸 2g，徐熱，使之溶解，取出上部液，加水，使成 100cc，裝入著色瓶新液較有效.
酸性氯化第二銅液(Stead 試藥)	氯化第二銅 10g+氯化鎂 40g+鹽酸(濃) 20cc+溫水即乙醇 1000cc	2 種鹽儘量溶於少量溫水，加以醇成 100cc，可檢出 P 的偏析狀態，以此液包覆試料研磨面，放置 1min 後，擦拭，再覆以新液，如此反覆，銅即沉著於含 P 的相上，已沸水、酒精洗後觀察.
特殊苦味酸溶液	苦味酸 20g+表面活性劑 2cc+水 100cc+乙醚 100cc	用於檢出鋼的回火脆性表面活性劑的組成是在 40%易丙醇溶解 dimethyl myristyl ben-zine ammonium chloride 為陽離子 M-2 (50%)

3.8 顯微觀察(Microstructural observation)

將浸蝕後的試片放置於光學顯微鏡(Optical Microscope, OM)下觀察其金相組織，圖 8 為常見的光學顯微鏡的結構圖，光學顯微鏡主要結構為目鏡(10 倍)、物鏡(5 倍、10 倍、20 倍、50 倍、100 倍)、載物台、聚焦旋鈕..等。利用光源在金屬試片表面上不同凹凸程度的折射，就會產生不同的明暗對比，這是較巨觀的看法。若以顯微的觀點來說明，亦即不同明暗對比的部分就是不同顯微組織或是不同元素富集的位置所在，這種不同的明暗對比又稱為明視野與暗視野成像，如圖 9 的金相顯微照片所示。所以鋼結構材料可以利用顯微觀察的方式，瞭解鋼結構材料內部存在哪些顯微組織，每種不同的顯微組織各有不同的學名，並有不同的機械強度，進而可判斷材料的機械性質優劣。

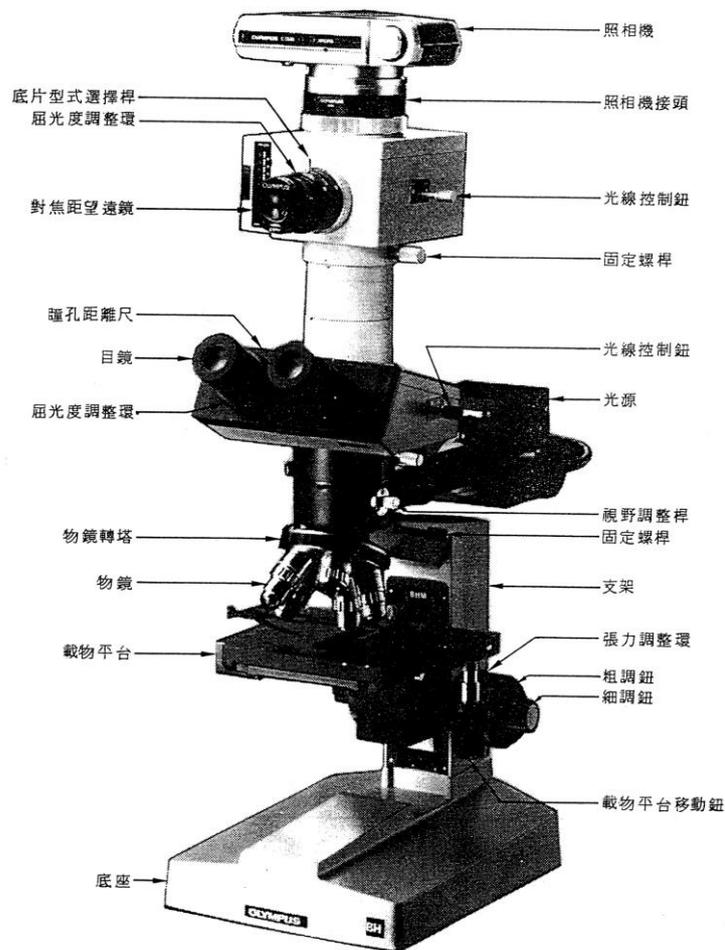


圖 8 光學顯微鏡的詳細結構圖

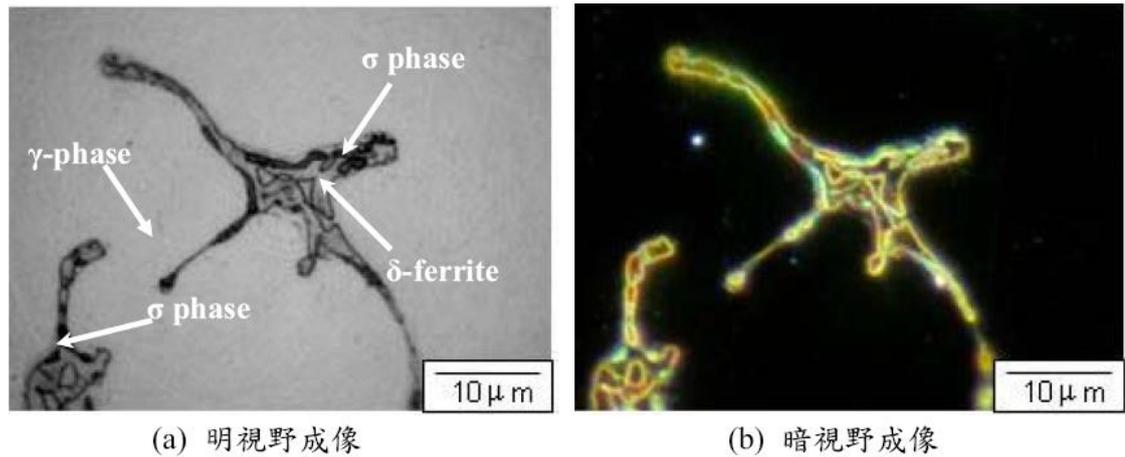


圖 9 光學顯微鏡的明、暗視野成像功能

四、結語

金相顯微分析技術雖然發展歷史相當久遠，但卻可以從中得到及預測鋼結構材料的特性，不同的鋼結構材料具有不同的顯微組織，所以會呈現不同的機械性質，鋼結構常需要銲接組立，使用金相分析技術可以檢驗到鋼結構的銲接劣化問題，比傳統螢光、液體滲透、X 光射線法更能夠得到較清楚的資訊，所以就材料及冶金學的觀點來看，鋼結構的分析應該要納入金相分析的方法，將可以使鋼結構的設計更安全、可靠且事半功倍。

五、參考資料

1. 韋孟育，材料分析方法-金相分析技術，全華圖書股份有限公司，民國 90 年。
2. 謝之駿，金屬顯微金相製作技巧與應用實務，薪傳國際管理顧問有限公司，民國 102 年。
3. 謝之駿，百鍊成鋼-煉鐵煉鋼的真功夫，科學發展月刊，第 44 期，民國 97 年。