

鋼鐵材料之機械性質，主要取決於其顯微組織，不同的顯微組織將導致鋼鐵材料在機械強度上有著顯著的差異，我們可透過許不同的工藝來改變其強度，而其中以熱處理工藝最為被廣泛使用。什麼是熱處理？簡單的說明，即是根據不同的材料透過不同的加熱溫度、持溫時間、氣氛、冷卻、回火、熱處理設備來達到吾人所需之機械性質（可使鋼鐵材料“變硬”又或者“變軟”）。然而，欲達到不同的熱處理的目的，有著不同的工藝方法，頗為複雜，常使得我們有所困惑。為了不使得本文複雜化，因此，本文僅先針對熱處理如何使得鋼鐵材料“變硬”之工藝，來作一簡單說明：

熱處理的選擇

文 / 孫宏誠

1. 加熱溫度：

要提升鋼鐵材料的強度，則必須將鋼鐵材料加溫至沃斯田鐵化溫度，當把鋼鐵材料加熱到沃斯田鐵化溫度時，其組織則開始轉變態為沃斯田鐵，使能藉由後續的急速“冷卻”（淬火），來得到麻田散體組織（使材料變硬的組織）；另一方面，也只有到在沃斯田鐵化時，鋼鐵材料才具有較高之溶碳能力，使得吾人得以透過“氣氛”的控制（可參考第3點），得以對鋼鐵材料滲碳、脫碳以及不滲碳也不脫碳。

2. 持溫時間：

呈上述，將鋼鐵材料加熱至沃斯田鐵化時，鋼鐵材料使具有滲碳、脫碳、不滲碳也不脫碳（而不滲碳亦不脫碳之製程，業內習慣稱之為調質，因此本文亦同樣稱之）。而不同的製程，對於持溫時間皆有不同的設定。對調質而言，加熱的時間，取決於目標工件之內外溫度是否已達沃斯田鐵溫度以及是否均勻，才能使得隨後的急速冷卻（淬火），能夠成功；而對滲碳或者脫碳的製程，其持溫的時間則更具意義，除了必須達到工件內外溫度一致以外，會根據滲碳深度或者脫碳深度來決定。（滲碳、脫碳是透過“爐內的碳勢”與“工件的碳含量”之間的不同碳濃度，利用擴散來達到目的，深度越深的要求則需要更深的擴散時間）

3. 氣氛：

一般業內的主流為氣體滲碳（滲碳氣氛、滲碳氮化氣氛），透過甲醇、丙烷、RX氣體、氫氣、氨氣（每家使用之系統略有不同），再配合氧探頭來偵測以及控制爐內之碳勢（Carbon Potential；CP）。爐內碳勢的控制，對於熱處理製程可謂重之又重，特別是對於調質而言。舉例而言，10B21之碳含量為0.18~0.23%，如何在加熱過程中（沃斯田鐵化溫度），將熱處理爐內之碳勢控制在0.18~0.23%之間，才能使得工件達到調質（不滲碳也不脫碳）的目的。而對於滲碳製程來說，一般可將爐內碳含量控制在0.8%~1.1%（碳勢過高，滲碳過程中，會在工件表面形成雪明碳鐵，將不利於工件之壽命）。而另在某些需要強滲碳再擴散的滲碳製程中，則會出現兩段式、三段式的碳勢設定，一般運用於箱型爐（可第6點）。

4. 冷卻：

待工件加熱至沃斯田鐵化溫度時（達到均勻），並且完成所需要之滲碳深度、脫碳深度或者調質目的後，藉由急速的冷卻（淬火）使得材料由沃斯田鐵組織轉變態為麻田散鐵組織，則能使得鋼鐵材料達到最硬的狀態。而此冷卻過程（淬火），將是決定材料是否熱處理成功的重要關鍵。影響冷卻的效果因子主要有三種：a.冷卻液的種類 b.工件本身的質量 c.淬火過程中的蒸汽泡。

a. 冷卻液的種類：

一般業內常用的冷卻液種類，有水、油甚至亦有高分子淬火液，水性淬火液之冷卻效果要比油來得好。然而，使用水性淬火液體，除了劇烈淬火導致工件變形的疑慮外，尚須考量到環保的水處理問題；而油性的淬火液之淬火效果，雖不及水性淬火液，但考量到上述兩種原因，目前業內依油性淬火為主流（仍有熱處理業者選用水當淬火液）。

b. 工件本身的質量：

在同樣的冷卻條件下，工件達到一定的厚度以上時，冷卻效果將會隨著工件的厚度而變差，前述有提到，熱處理後的硬度取決於組織的變化（麻田散鐵組織），當冷卻效果不佳時，則無法達到完整的麻田散鐵組織。

c. 冷卻過程中的蒸汽泡：

當達到沃斯田鐵化溫度的工件，浸泡至冷卻液時，無可避免的會在工件的表面形成蒸汽泡，而此蒸汽泡，會影響到冷卻液與工件之間的熱傳導，可能會導致淬火失敗。因此一般熱處理設備都設有攪拌器之機構，以用來破壞蒸汽泡，增加淬火成功率（也有某些業者會添加消泡劑來減緩蒸汽泡的產生）。



5. 回火：

呈上述，鋼鐵材料加熱至沃斯田鐵化後，隨後成功的冷卻（淬火）可使得材料轉變態為麻田散鐵，達到該材料所能達到的最硬情況。然而，最硬的硬度並不見得適合各種負荷使用，因此針對不同的使用，皆會設定不同的硬度需求，因而回火溫度也會據此做不同的設定（硬度越低，回火溫度的設定則越高）。此外，儘管工件的使用要求，是越硬越好，待其淬火達到最高硬度後，仍需要低溫回火，以消除淬火之殘留應力。因此，一般情況下，淬火後皆不可缺少回火製程（也是本文雖然探討如何將鋼鐵材料“變硬”卻又不免提到回火）。

6. 熱處理設備：

一般業內常見的有連續爐、箱型爐、坑式爐，根據不同的熱處理目的，我們應選用不同的設備。本文就扣件業者較常使用的連續爐、箱型爐加以敘述之。

連續爐即是透過馬達來帶動輸送帶，進行工件的搬運，將工件搬送入加熱爐內，使工件得以進行加熱、滲碳、脫碳又或調質，隨後工件再隨著輸送帶的終點掉入油槽，完成冷卻（淬火）的動作。也由於輸送帶的速度是由馬達來控制，因此可利用變頻器的設定來控制馬達帶動輸送帶的速度，此意味著透過變頻器的設定得以控制工件在爐內的加熱時間。如同前述（可參考第2點），加熱時間意義重大，特別是對於有滲碳深度或者脫碳深度要求的工件，如果在爐內的時間，不足以使得碳擴散到要求深度時，則無法得到該工件的滲碳要求。然而，礙於變頻馬達在實際上的使用，常會有一最低運轉的限制，也就導致了加熱時間有限；另外，為了避免在滲碳過程中，在工件表面生成雪明碳鐵，因此滲碳之碳勢設定往往也有上限（可參考第3點），也就是無法藉由超過常理的高濃度的碳勢來達到更深的滲碳深度。唯一的解決之道，就是延伸加熱爐之長度，藉由更長的距離來取得更長的加熱時間。然而，目前國內為了靈活的調配生產條件，多數未設立加長型的連續爐，使其深碳能力可能約在25~35條上下，即是極限（各家略有不同且需考量材質選擇、加熱溫度、碳勢控制、工件厚薄、冷卻效果）。

另一受到廣泛使用的為箱型爐，是一種將欲熱處理的工件依合適的方式置放於合適的治具上，組成一爐。再藉由軌道的搬送，整爐進去熱處理，雖說目前多數業者已透過系統整合，來達到自動進出爐，但意義上仍是屬於批式處理的一種。也由於其為批式處理，因此可單獨設立熱處理條件，並且無加熱時間之限制，也就是說，可藉由長時間的滲碳達來到客戶之需求。然而，此種作業方式，相較於連續爐而言，來的耗費人工（須由人工進行裝爐、拆爐的動作），並且通常會搭配較高端的洗淨液與洗淨設備（連續爐之工件清洗，一般僅靠水+添加劑進行浸泡沖洗），因此，箱型爐之熱處理費用會來的比連續爐來的高。



圖一：AISI 1012滲碳淬火後之組織

7. 材料：

結合上述後，我們知道，欲使得鋼鐵材料變硬，可透過“滲碳”或者“調質”（不滲碳也不脫碳），那什麼材料該做什麼處理呢？又或者應該說“能”做什麼處理呢？在此，我們先以碳鋼做為討論，可用碳含量作為粗略的區分（碳是影響鋼鐵材料最重要的元素之一），碳含量0.2%以下的（例如AISI 1018、1015、1012、1010、1008等），多是滲碳熱處理居多，無法做調質處理。如同前述，調質為一種在加熱（沃斯田鐵）過程中，不滲碳也不脫碳再進行冷卻（淬火），最後視不同硬度進行回火之製程。而碳含量0.2%以下的工件，儘管使用水作為淬火液，也會因為自身碳含量較低，因而無法取得較高的硬度。因此，一般都是滲碳熱處理居多，然而，有一種情況，是透過滲碳熱處理也無法補足的缺陷，如圖一所示，AISI 1012之滲碳熱處理為例，儘管經過滲碳熱處理後，卻可能因為淬火性不足的關係（請參考上述之第4點），在表面形成非麻田散鐵組織（深青色的網狀處；軟點），如在較嚴苛的使用強況下，這可能就會形成材料的破損起始點。有鑑於此，才會有合金元素的添加（如SCM415），來彌補因淬火性的不足，無法得到全麻田散鐵的缺陷。此外，對於含碳量0.2%以上的鋼鐵材料，大部分都可以進行調質處理，同樣的，也可能因為淬火性的不足，導致淬火軟點或者心部硬度不足的情況，因此同樣的，我們各藉由合金元素的添加來改善此效應（如10B21、SCM440）。

結論：

就目前的趨勢，扣件業者早已也不僅限於傳統的螺絲、螺帽製造，更涉獵於原車修件的製造，希望先透過冷鍛再進行部分的車修，利用這種工法以達到材料損失減少之目的，來提高競爭能力。也因如此，在圖面審查的過程中，常面對了許多不同以往的熱處理需求。因此，我們必須對熱處理製程有更深入的了解，除了增加圖面審查的能力外，面對較複雜的需求，才能與熱處理業者共同面對之，增加我國在國際間取得訂單的競爭能力。

