

文/Laurence Claus

# 扣件博士： 扣件熱處理



## Q&A

扣件熱處理是有很多細節要了解的複雜主題。以下是可以提供一些基本概念的問與答。

### Q 為什麼扣件要熱處理？

**A:** 有很多理由會讓人選擇把扣件進行熱處理。不過我們可以把理由分成三大類，第一是讓零件更強韌；第二是讓表面更堅硬；第三是改善可加工性和/或讓細微結構變更好。淬火、回火和沃斯回火屬第一類，表面硬化是第二類，製程退火是第三類。

### Q 所有扣件的熱處理都一樣嗎？

**A:** 不是。不同材料的熱處理機制通常是相異和獨特的。以可熱處理的7075鋁螺栓為例，其驅使強化的機制與強化4140合金鋼扣件的機制全然不同。而且，使用類似材料的扣件可能會根據想要的結果用不同的熱處理。舉例來說，鋼製螺紋成形螺絲非常可能會經表面硬化處理，同時鋼製螺栓被淬火和回火過。在這個案例中，雖然熱處理機制可能近似，過程卻非常不同。



### Q 什麼是淬火加回火?

**A:** 淬火加回火可能是鋼製扣件、多數中強度(8.8類和5級)和高強度(10.9、12.9類和8級)扣件中最常用的熱處理工法。偶爾這個工法也被稱作穿透淬火或中和硬化。這項工法主要發生在三種基本但同樣重要的步驟:

1. 扣件經足夠的長時間加熱來全面達到關鍵的沃斯田鐵化溫度(在這個溫度, 鋼鐵會重新排列成面心立方晶格, 也就是大家熟知的沃斯田鐵)。

2. 當全面轉換成100%沃斯田鐵時, 零件在會快速降低其溫度的物質中進行淬火。淬火的動作促使面心立方晶格的沃斯田鐵轉化成體心正方晶格, 也就是大家熟知的麻田散鐵。麻田散鐵非常堅硬, 但不幸的是, 也非常易脆。

3. 在淬火後的當下, 零件會易碎到無法使用。為了解決此問題, 第三步驟是重新加熱零件至略低於關鍵沃斯田鐵轉換點的溫度(我們不希望讓鋼鐵轉回沃斯田鐵)並維持在那一段時間。這可以讓淬火衝擊所導致的晶格內的應力舒緩, 讓零件較不易脆。



### Q 請說明回火的重要性?

**A:** 當鋼製零件經過淬火, 面心立方晶格沃斯田鐵晶格被重新組列成體心正方晶格的麻田散鐵。當此情形發生時, 新的晶格會被拉得很緊, 讓鋼鐵比在熱處理前更加堅硬和強壯, 但也更易脆。事實上, 在這情況下它也易脆到無法讓扣件可以被使用。假設我們這麼做, 零件很可能在暴露於特定作用荷重時會輕易就斷裂。因此, 我們必須解決這問題。我們透過回火來達成。我們重新把零件輸送進火爐, 溫度設定在低於關鍵沃斯田鐵轉化點的溫度一段長時間。得到的結果是零件變得較易脆, 但也喪失一些硬度。合適的回火溫度和時間是兩項熱處理必須控制的參數。若回火溫度不夠高或零件沒有被浸在該溫度足夠的時間, 零件就會出現回火不足, 意謂其仍會有一些易脆。

### Q 為何有些人稱之為穿透硬化?

**A:** 之所以稱作「穿透硬化」乃因工法的最終結果是相同硬度的零件穿透了整個橫截面。當然不同的部位可能會有稍微的變化, 但仍控制在最多僅有一些小數點範圍的硬度內。

### Q 為何有些人稱之為中和硬化?

**A:** 當鋼鐵被加熱至高溫(例如沃斯田鐵溫度), 原子會變得活躍容易移動。這意謂其可能在週邊氣體和零件之間存在不平衡狀態時會與週遭物質產生反應。因此, 當零件在沃斯田鐵爐裡且已經被提高到這個高溫水平, 就必須受到保護以免接觸到會啟動有害化學反應的物質。加熱爐在爐內產生負壓(也就是說, 預防外部氣體滲進爐體開口)和在零件周圍包覆不會與零件產生反應的中性氣體來達到此目的。這就是為何其有時稱作「中和硬化」。

### Q 什麼是脫碳?

**A:** 上述問題的解答呈現出加熱爐如何讓零件包覆一層中性氣體。加熱爐必須擔心的要素是碳。若火爐讓會把碳從零件上剝離這種不希望發生的反應的物質進入爐體, 或是氣體中的碳濃度比零件的碳濃度低, 零件本身的碳就可能喪失。零件受暴露的長度越長或失去平衡的狀況越嚴重, 零件失去的碳就越多。這種現象被稱作脫碳, 且通常是大家所不樂見。如果零件的表面有出現明顯脫碳, 在淬火時就會缺少必要的碳做強化。這可能會產生像是螺紋作用時太軟以致崩解或表面容易出現疲乏裂紋開裂的問題。當然, 碳也會流動進入相反方向。若氣體本身比零件有更多的碳, 碳就會流入零件而不是流出零件。這就是滲碳。雖然滲碳在中和硬化狀態下並不是被期待的狀況, 但還是有有很多硬化後的表面會需要它的應用, 所以滲碳是需要的。



## Q 什麼是沃斯回火?

**A:** 淬火和回火會產生一種鋼結構質地強壯堅硬的麻田散鐵。另一種堅硬強壯的鋼結構是貝氏體。跟麻田散鐵一樣，貝氏體不會自然產生且需要一種特殊工法來產生它。這項工法稱作沃斯回火。在很多方面，沃斯回火近似淬火加回火，但有兩種非常不同的差異。沃斯回火跟淬火加回火一開始一樣會將零件浸在沃斯田鐵溫度很長一段時間，好讓結構可以全部轉化成沃斯田鐵。跟淬火加回火一樣，零件接著會進行淬火。不過，在過程中就是兩種做法開始出現不同的時候。與其冷卻零件到接近室溫的方法，淬火被控制在約攝氏300至350度，然後維持一段時間讓零件可以轉化為貝氏體。這個特別的淬火過程藉由在熔解後且可以在一段很小的溫度區間中維持液態的含鹽物質中進行淬火，讓這個等溫冷卻過程更可行。沃斯回火和淬火加回火之間的第二項顯著差異是，不若麻田散鐵，貝氏體不需要回火。當整個轉化已經發生，過程就完成了。

## Q 沃斯回火有優點嗎?

**A:** 沃斯回火不可能適用所有材料或情況。不過，對於容易發生扭曲變形的零件則特別有幫助。例如，彈簧鋼夾片的製造商就喜歡使用它，因為相較於使用淬火加回火的方式可以產生更少扭曲變形。

## Q 什麼是感應硬化且如何應用於扣件上?

**A:** 感應硬化是可以被選擇性施作的唯一方法。不用加熱整支零件，只有需要的地方會被感應加熱環快速加熱到沃斯田鐵溫度以上。接著零件經過淬火，選擇性地只硬化受熱區。這是經常使用於特定軋紋螺絲和複合金屬鑽入螺絲尖端的熱處理做法。

## Q 零件的表面如何被硬化?

**A:** 有三種主要的表面硬化法: 1. 滲碳 2. 滲氮 3. 碳氮共滲。雖然這三種方式的任一種都可以用於扣件，大多扣件都是採碳氮共滲。前面的問答已經描述過滲碳。這是一種驅使碳進入零件本體的過程。零件在滲碳條件下爐體內的部分越長，碳滲入零件的程度越深，且產生的「外殼」也會越厚越硬。因為透過滲碳產生深厚外殼的時間長，這個過程幾乎必須在批式爐內才能緩慢發生，且幾乎不會用於扣件這種大批量的產品。在滲氮過程中，加熱爐會釋出氮進入表面。這個過程會產生氮疊加，形成強韌堅硬的表層。而且，這是一種需要用到批式爐的緩慢釋出過程且很少被用於扣件。扣件的表面硬化幾乎完全要靠碳氮共滲才能完成。加熱爐會注入分離後的氮進入沃斯田鐵爐內充滿氮的氣體。這會產生充滿碳和氮的氣體。這些要素一起被吸收然後作用，會比單獨使用碳或氮更快產生外殼層。不過因為扣件是使用輸送零件的爐體設備做大量處理，且依據速度和爐體長度有所限制，要做表面硬化是可能的，但產生的外殼深度可能無法跟在批式爐內對零件進行更長時間滲碳或滲氮的深度一樣深。

## Q 應力釋放和退火兩者之間有差別嗎?

**A:** 有的。應力釋放是在比關鍵沃斯田鐵溫度還低的溫度加工零件。例如，效果是在釋放成形過程中遺留下的殘存應力。退火則是在高於沃斯田鐵溫度的溫度加工零件，且根據所採用的過程，產生同質、柔軟和可加工的波來鐵結構。

## Q 什麼是未經回火的麻田散鐵?

**A:** 記住淬火後的麻田散鐵是非常易脆的。若熱處理沒有被妥當施行，有很大可能零件會含有未經回火的麻田散鐵。這絕對不是好事且含有未經回火麻田散鐵的零件很容易失效。

## Q 導致淬裂的原因是什麼?

**A:** 淬裂是以淬火過程為中心的一系列複雜事件。本質上，當鋼鐵從沃斯田鐵轉化成麻田散鐵時體積會變大，因為原子重新排列成新的晶格。當大線徑零件(或是大截面的零件)經淬火，外面會先轉化，然後才是內部(或核心)。當變大的核心與已經變大且堅硬的外殼作用，會產生殘餘應力。若產生的殘餘應力超出局部抗拉強度，會形成裂縫，然後快速擴散至零件其他部位。合金鋼製成的零件一般來說會比基本的碳鋼零件還要容易發生淬裂。

