

SAE 4140H 合金鋼製六角螺栓回火參數對機械性質、微觀組織影響

呂東原 林東毅

國立高雄大學化學工程及材料工程系

本研究以 SAE 4140H 鉻鉬合金鋼製六角螺栓為實驗材料進行熱處理，觀察其中不同位置的淬火組織，接著施以不同溫度及時間的回火，並探討其回火組織及硬度的差異，透過萬能試驗機取得螺栓回火後抗拉強度、降伏強度等機械性質，最後探討其淬火組織在不同回火時間的硬度變化。

由本研究結果顯示，SAE 4140H 的淬火麻田散鐵組織會隨心部到外緣距離的不同而有不同的形態及硬度值，也因此回火也是有不同的回火麻田散鐵形態。而在施以不同溫度的回火後，其金相組織會有所不同，且其機械性質會隨著回火溫度的提高而降低。又可以發現在淬火後硬度越高的位置，其回火軟化的速度越快。在其可獲得相同硬度的不同回火參數實驗結果中發現，長時間的回火持溫可獲得更細緻的金相組織形態。

另外又針對實驗材料在回火 0~120 分鐘的硬度變化，可發現持溫時間在 30 分鐘內的硬度處於快速下降的階段，無法精確地預估其硬度值的變化。

關鍵字：鉻鉬合金鋼、熱處理、機械性質

1、前言

世界的演進無不朝著大型化發展，諸如各種機械設備乃至於基礎建設交通設施及建築物無不朝向更快的工作速度、更大的工作量、更大的載運量、更重的承載量方向前進。

因此，大尺寸螺栓的需求應運而生，而大尺寸螺栓的應用也意味著在一單位面積下的螺栓使用數量相較與小尺寸螺栓是減少的，因此也有著減少施作時間增加工作效率上的意義。且螺栓的使用目的已不只是簡單的固定而已，他需同時具備高承載能力。而為了達到擁有高強度的大尺寸螺栓，透過精確的熱處理增強及調整到達所需的強度[1]是門艱深的學問。

而這些大尺寸螺栓多是使用含有鉻、鉬元素的鉻鉬鋼材[1] [2]，透過熱處理的工藝達到所需要的各種機械性質，所以本研究以 SAE 4140H 大尺寸螺栓作為實驗材料，並透過回火溫度、時間不同探討其機械性質及組織的差異。從圖 1 可知不同的機械性質間有其相對應的關係[3]。

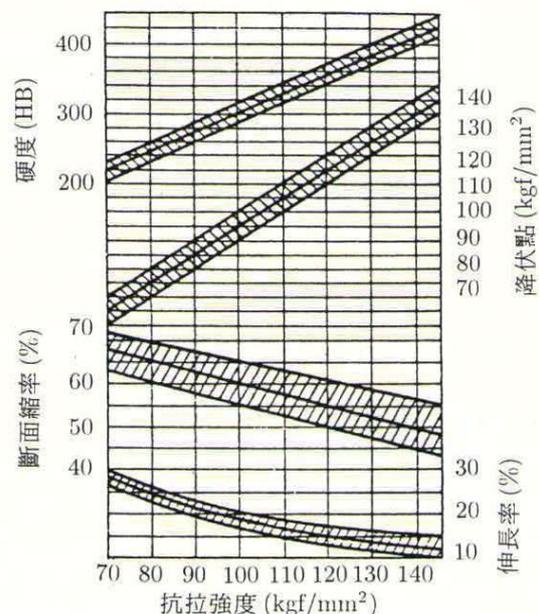


圖 1 構造用鋼的抗拉強度和其他機械性質之關係

2、實驗方法

本實驗流程主要是將 SAE 4140H 製六角螺栓進行淬火後金相組織觀察及硬度試驗，以及回火後金相組織觀察和硬度、拉伸試驗，如圖 2 所示；本實驗所使用的六角螺栓直徑為 28.52mm，長度為 129.7mm。其化學成份如表 1 所示。

將六角螺栓進行升溫至 890°C 持溫 85 分鐘後油淬。再將淬火後的螺栓進行 530°C、550°C、570°C 三個溫度 85 分鐘回火試驗及 530°C 850 分鐘回火試驗，和 570°C 10-120 分鐘的回火試驗。

將這些淬火及回火後的螺栓切取出厚度 10mm 的試片進行研磨、拋光、Nital 蝕刻處理使用場發掃描式電子顯微鏡做金相組織觀察，以及硬度試驗，另外將部分回火後螺栓進行拉伸試驗。



表 1 SAE 4140H 化學成分表

化學成分	試片
C	0.41
Mn	0.77
P	0.011
S	0.008
Si	0.22
Ni	-
Cr	1.03
Mo	0.16

(單位：wt%)

3、結果與討論

3.1 淬火對螺栓不同位置的金相觀察及硬度

經過 890°C 持溫 85 分鐘後油淬，透過由表面到心部的金相觀察可發現其麻田散鐵組織存在差異如圖 3 所示，然而這些差異也導致其硬度的差異如表 2 所示。



(a) 位置 1



(b) 位置 2



(c) 位置 3

圖 3 淬火後不同位置金相組織觀察

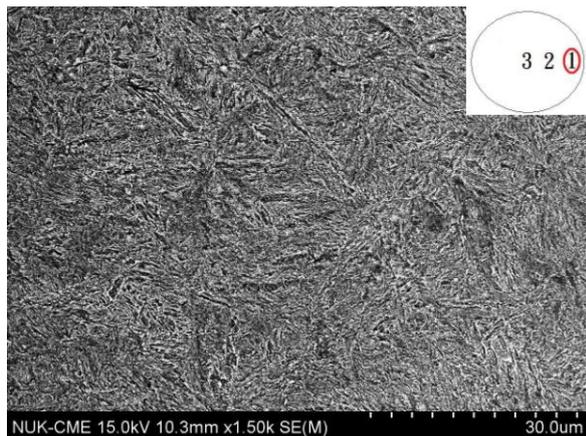
表 2 淬火硬度

位置	1	2	3
HRC	48.7	51.5	55.7

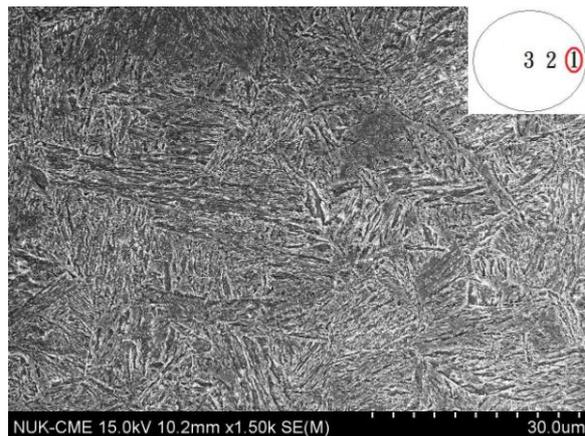
3.2 回火狀態

淬火後的鋼雖然強度大硬度高，但是很脆不實用。假如把它加熱到 A1 變態點以下的適當溫度時，不但可以除去淬火鋼的內部應力，又能調節硬度而得到適當的強韌性。[3] [4]

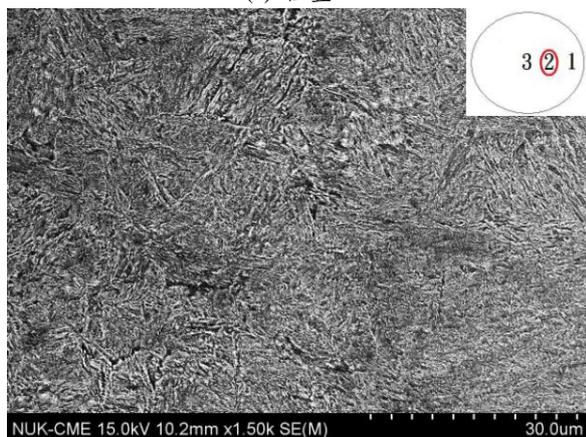
以 530°C、550°C、570°C 三個溫度點，相同持溫時間 85 分鐘的實驗，觀察其回火金相組織，並測試其機械性質。淬火所得的麻田散鐵組織加以回火時，隨著溫度上升，經過回火的各種階段會變為不同形態的回火麻田散鐵組織[4]，也就是說回火麻田散鐵組織會隨溫度及時間而異。因為在淬火時心部到表面的麻田散鐵組織已經有所差異，故在回火後組織也可從金相組織中發現差異如圖 4-6。



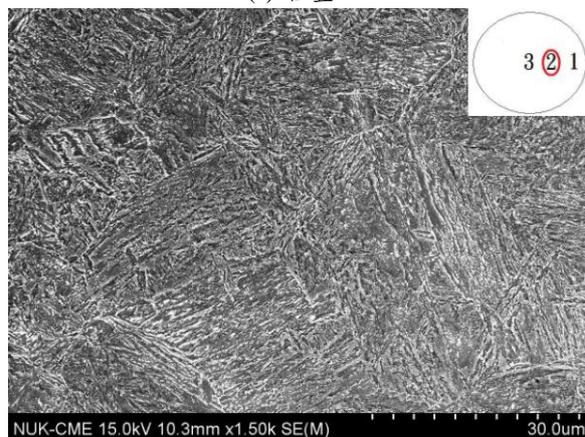
(a) 位置 1



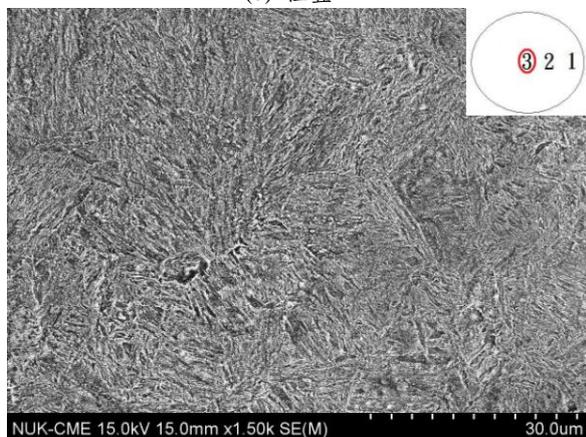
(a) 位置 1



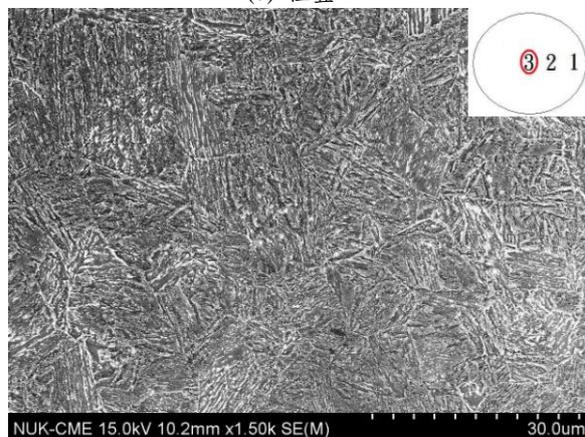
(b) 位置 2



(b) 位置 2



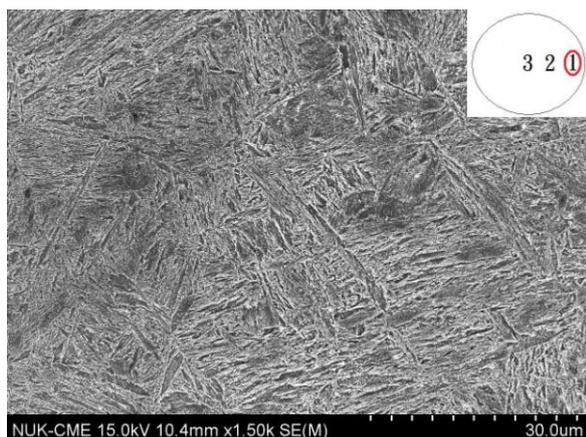
(c) 位置 3



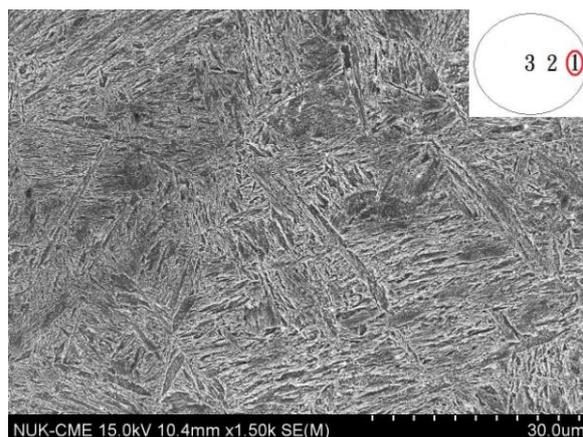
(c) 位置 3

圖 4 回火 530°C 85 分鐘不同位置金相組織

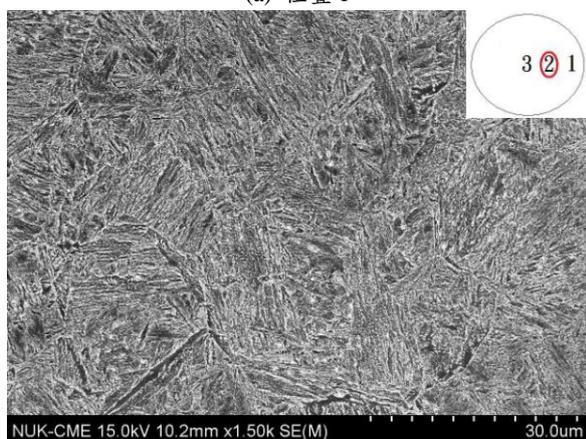
圖 5 回火 550°C 85 分鐘不同位置金相組織



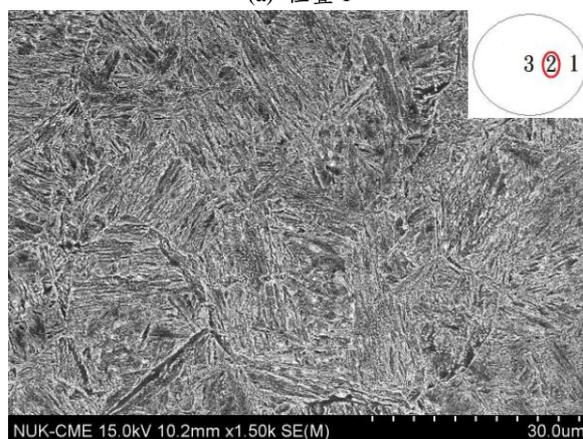
(a) 位置 1



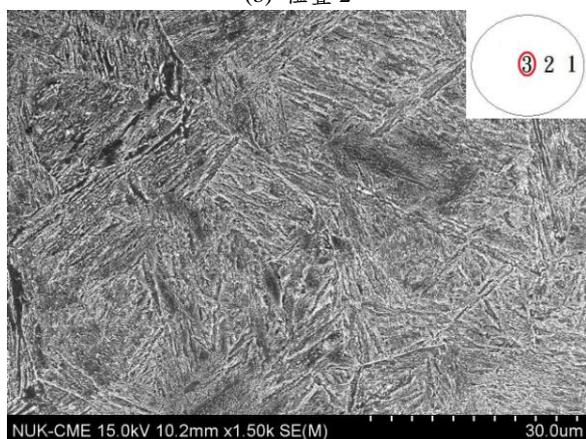
(a) 位置 1



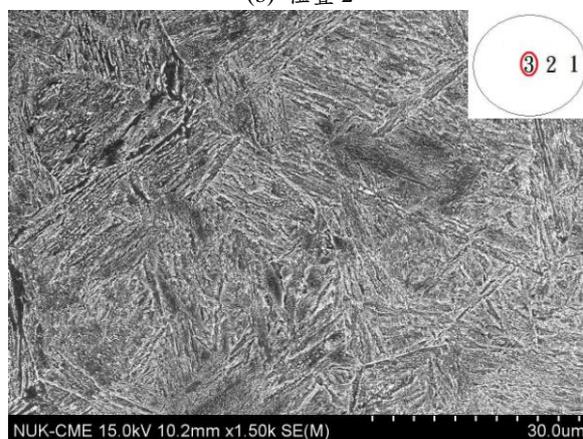
(b) 位置 2



(b) 位置 2



(c) 位置 3



(c) 位置 3

圖 6 回火 570°C 85 分鐘不同位置金相組織

又透過實驗方法發現回火參數 570°C 85 分鐘與 530°C 850 分鐘時的硬度值是相同的，但金相的觀察確有其差異存在。雖然硬度相同，但在組織上回火 530°C 850 分鐘比 570°C 85 分鐘細緻圖 7。

圖 7 回火 530°C 850 分鐘不同位置金相組織

觀察其硬度的變化如圖 8，又從圖 9 可得知硬度越高的組織回火後應度下降越快。再將經過這 4 種回火參數回火的螺栓車修成標準試片做拉伸試驗，可得知硬度的降低連同抗拉強度及降伏強度也會降低而斷面縮率會提升表 3。

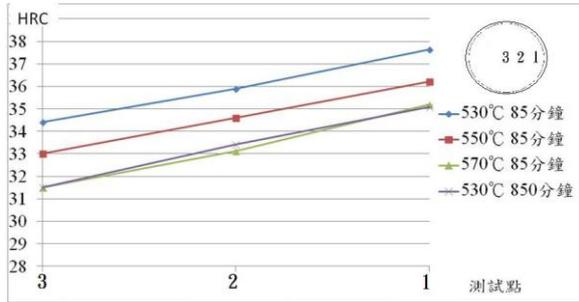


圖 7 回火硬度趨勢圖

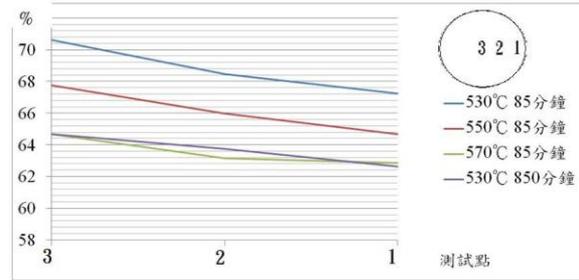


圖 8 回火硬度降低百分比趨勢圖

表 3 螺栓回火拉伸試驗

回火溫度 時間	平均硬度 HRC	抗拉強度 Mpa	降伏強度 Mpa	斷面縮率 %
530°C 85 分鐘	36.5	1163.48	1069.61	31.52
550°C 85 分鐘	35.1	1118.71	1029.66	32.13
570°C 85 分鐘	33.9	1057.34	954.81	32.51
530°C 850 分鐘	33.9	1054.58	952.74	32.71

3.3 回火時間與硬度關係

在經過實驗後了解回火參數 570°C 85 分鐘與 530°C 850 分鐘可得到相同硬度，帶入由下式求出 C 值[3]：

$$C = \frac{T_1 \log t_1 - T_2 \log t_2}{T_1 - T_2}$$

C：常數

T₁：溫度，K； t₁：時間，秒

T₂：溫度，K； t₂：時間，秒

C=16.3726213

以此 C 值帶入當回火參數 530°C 85 分鐘可得之硬度在回火參數 570°C 9.5 分鐘便可獲得，但經實際實驗發現在回火參數 570°C 9.5 分鐘無法獲得相同硬度。故再實驗 570°C 10 到 120 分鐘之回火試驗圖 9 從硬度值中可觀察到回火時間 0~10 分鐘硬度快速下降，10~30 分鐘硬度下降速度也很快，要到 30 分鐘後硬度才會緩慢下降。

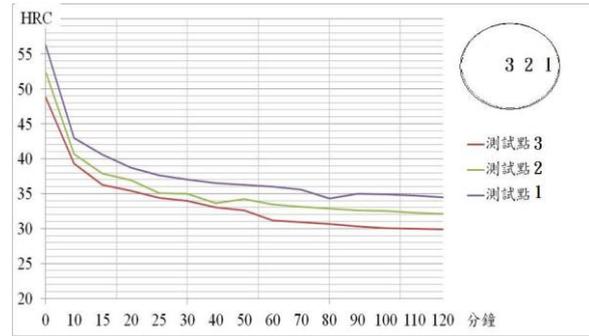


圖 7 回火溫度 570°C 的時間和硬度關係

4、結論

本研究乃針 SAE 4140H 製六角螺栓在淬火及不同回火參數下金相組織及機械性質的差異，可歸納結果如下所述：

1. 由淬火金相組織觀察中可得知麻田散鐵組織形態會從表面到心部逐漸變小，硬度也會跟著降低，因此也會影響到回火後的金相組織。
2. 隨著回火溫度的上升硬度的下降會更明顯，且抗拉強度及降伏強度也會降低，又硬度高的麻田散鐵組織軟化速度越快。
3. 透過不同的回火溫度及時間的組合可得到多組能獲得相同硬度值的回火參數，但即便是擁有相同機械性質回火參數的不同金相組織也會有差異。
4. SAE 4140H 在回火溫度 570°C 回火時間 0~30 分鐘間，硬度下降快速，故無法精準獲得所需的機械性質。

5、致謝

感謝晉禾企業於研究期間提供樣品及檢測設備、檢測技術支援。

6、參考文獻

- [1].小栗富士雄，“標準機械設計圖表便覽（最新增訂五版）材料（規格）”，pp.11a.1-10，眾文，(2012)
- [2].理工科技顧問有限公司，“金屬材料對照手冊”，pp.126-128，全華科技圖書，(2009)
- [3].黃振賢，“金屬熱處理（第 18 版）”，pp. 100-150，新文京開發出版股份有限公司，(2004)
- [4].蔡明欽 譯，“鋼—顯微組織與性質”，pp. 107-193，五南圖書出版股份有限公司，(2004)