

40BCrV 鋼熱處理硬度不均之改善

The Improvement of Hardness Uniformity After Heat Treatment for 40BCrV Steel

張恆碩* 郭瑩澤**

Herng-Shuoh Jang* Ying-Che Kuo**

* 中鋼公司-鋼鐵研究發展處-鋼鐵產品開發組 ** 冶金技術處-冶金技術服務組

摘要

鉻釩鋼為手工具常見之用鋼，主要使用在起子、扳手、套筒...之生產製造。這些手工具用鋼料若沒有透過適當的熱處理，便容易產製出硬度不均，特性不佳的產品，無法滿足客戶之需求。其中 40BCrV 鋼更是為國內棘輪扳手製造業者所常使用之鋼料，由於有業者反應產品在熱處理後容易發生硬度不均，疲勞壽命不足的現象，因此在中鋼的熱處理協助下，該業者之 X 規格棘輪扳手、其硬度滿足 >HRC50，扭力值符合 DIN 要求值 512N·m 之 1.5 倍 (768N·m) 以上，且在 DIN 要求值之扭力值 1/4(128N·m) 水平下施以疲勞壽命測試，疲勞壽命滿足 5 萬次以上之測試水準。

關鍵字：手工具、40BCrV、棘輪扳手

Abstract

The Chromium-Vanadium Steel is commonly used for hand tools, such as bits, wrenches, sockets...etc. If these hand tool steels were not subjected to proper heat treatment, it would be facilitated to produce non-uniform and worse property products. Hence, that is unable to meet the demands of customers. For these hand tool steels, 40BCrV steel is the most popular steel used in ratchet wrench manufacturing for domestic manufacturers. One of the users responded that some products after heat

treatment prone to uneven hardness and insufficient fatigue life. Under the assists of China steel corp. (CSC), the required properties for the customer's X type ratchet wrench meet the demands : the hardness must be greater than HRC50 and the torque value must be greater than 768 N·m under 1.5 times DIN specification demanded value 512 N·m and the fatigue life must be greater than 50 thousand times under the torque value 128 N·m demanded on 1/4 times DIN specification requirement value 768 N·m.

1. 前言

台灣為國際著名之手工具製造王國，常為國際知名手工具大廠代工製造。其中由中鋼供應之物美價廉之鉻釩鋼更為手工具業常見之用鋼，主要使用在起子、扳手、套筒...之生產製造。由於國際手工具大廠對於產品特性之需求相當嚴苛，再好的鋼料若沒有透過適當的熱處理，往往容易產製出硬度不均，特性不佳的產品，以致無法滿足客戶之需求。其中 40BCrV 鋼更是為國內棘輪扳手製造業者所常使用之鋼料。

由於有業者向中鋼反應，其產品採中鋼 40BCrV 鋼在加工及委外熱處理後，常發生硬度不均，疲勞壽命不足的現象。因此，客戶希望中鋼能協助其熱處理，並取得熱處理製程參數，以利將來將熱處理作業移回其廠內加工施行。為了落實中鋼高層推動 2.5 級產業之理

念，希望將服務理念深耕融於製造業，透過服務增值使中鋼下游客戶的產品能更臻完美，因此希望由中鋼的熱處理協助下，該業者之 X 規格 H 柄棘輪扳手、產品硬度滿足 $>HRC50$ ，扭力值符合 DIN 要求值 $512N\cdot m$ 之 1.5 倍 ($768N\cdot m$) 以上，且在 DIN 要求值之扭力值 $1/4(128N\cdot m)$ 水平下施以疲勞壽命測試，疲勞壽命滿足 5 萬次以上之測試水準。

2. 實驗方法

2.1 棘輪扳手之加工製程

根據中鋼某下游廠商表示，由 40BCRV 鋼產製之 X 規格棘輪扳手之製程主要為：

直棒下料→熱鍛→退火→研磨壓平→加工→研磨→Q/T 熱處理→震盪研磨→電鍍→雷射刻字

2.2 熱處理展開前之起始材備料



圖 1 熱鍛退火材經研磨壓平之粗胚試棒

由於此次客戶之需求，主要為產品熱處理後硬度不均，且疲勞壽命不穩定，因此由中鋼向客戶索取 50 支“熱鍛退火+研磨軋平”材 [簡化稱“熱鍛退火”材]，於中鋼實驗室展開熱處理調質試驗。

熱處理之取材，主要採兩種起始材進行展開：一種為直接採“熱鍛退火”材進行淬火-回火熱處理；另一種則將“熱鍛退火”材先經

過正常化之後再行淬火-回火熱處理。正常化之處理方式為試棒加熱至 $870^{\circ}C$ 後持溫 30 分鐘再施以空冷。圖 1 為熱鍛退火材經研磨壓平之粗胚試棒。

2.3 熱處理展開

根據鐵碳平衡圖， $0.4\%C$ 之碳鋼 A_3 點溫度約 $790^{\circ}C$ ，合理之沃斯田鐵化溫度約為 $A_3+50^{\circ}C$ 附近做調整，故本實驗嘗試試驗之沃斯田鐵化溫度主要設定為 $840^{\circ}C$ 至 $880^{\circ}C$ 溫度區間做最佳化調整，加熱恆溫保持時間則設定為 10min、15min、20min、25min 及 30min 後取出直接於 $80^{\circ}C$ 油槽進行油淬。

油淬之試棒經硬度量測後，再進行回火調質，並繪製硬度曲線。

2.4 產品特性需求

火調質，硬度必須滿足 $HRC50$ 以上，且成品之扭力值必須符合 $512N\cdot m$ 之 1.5 倍以上，即 $768N\cdot m$ 。DIN 要求值之扭力值 $1/4$ 水平下施以疲勞壽命測試，疲勞壽命滿足 5 萬次以上之測試水準。

起始材

兩種「起始材」展開熱處理試驗製程之“熱鍛退火+研磨軋平”材展開熱處理，退火起始材之平均硬度約為 $HRC17.5$ ；第二種則將上述之退火材先施以正常化再進行熱處理，退火起始材之平均硬度約為 17.8，兩者硬度差異不大。熱鍛退火材及正常化材之顯微組織則分別如圖 2 及圖 3 所示。熱鍛退火材之組織為不完全之球化組織，主要為雪明碳鐵被打斷+部分球化之組織；正常化材主要為波來鐵+肥粒鐵之組織。

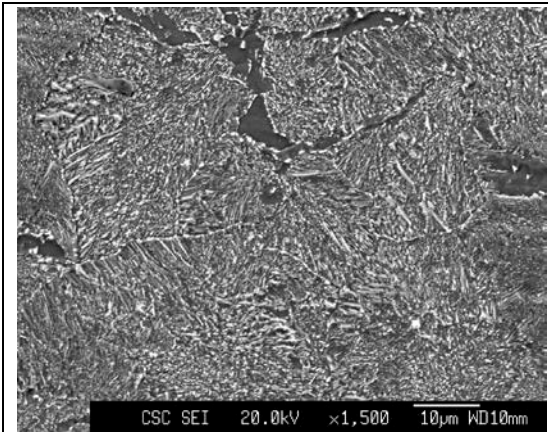


圖 2 熱鍛退火材之顯微組織 (HRC17.5)

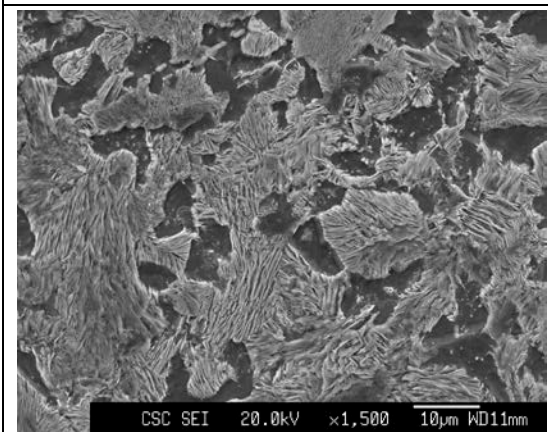


圖 3 正常化材之顯微組織(HRC17.8)

3.2 淬火熱處理

圖 4 為熱鍛退火材施以不同沃斯田鐵化條件油淬後，量測試片之平均硬度曲線及硬度標準差(檢驗 10 個位置)；結果顯示，採熱鍛退火材進行沃斯田鐵化處理，840°C 無法充分沃斯田鐵化，故硬度值偏低，適當之沃斯田鐵化溫度則落在 860°C-880°C 之間，建議採 860°C~870°C，沃斯田鐵化時間則採 25min 為最佳，且該熱處理條件下所得硬度變異值較低。圖 5 則為正常化材採不同沃斯田鐵化條件油淬後之平均硬度曲線及硬度標準差；結果顯示，正常化材在 870°C 持溫 20 分鐘後油淬為最佳沃斯田鐵化條件，且硬度變異值最低。

比較曲線圖 4 及圖 5，正常化材的油淬試片，其硬度曲線大致落在 HRC53~HRC54.5 之間，且硬度標準差之變異也較低。反觀熱鍛退

火材，在沃斯田鐵化溫度 860°C~880°C 間，硬度曲線則落在 HRC50~HRC55，硬度標準差之變異也較大。退火材在淬火熱處理後之硬度變異較大，主要為退火材基地較正常化材中存在較多的球狀碳化物，這些球狀碳化物因為含有強碳化物形成元素 Cr 的作用，因此碳化物在分解，發生固溶的擴散程度會較層狀碳化物固溶時來的差。所以，在無足夠充足的沃斯田鐵化條件下，這些被強碳化物形成元素 Cr 所吸引的 C，若無法得到充分的擴散，將導致基地的固溶碳分布不均勻，故淬火後容易發生硬度不均的現象。

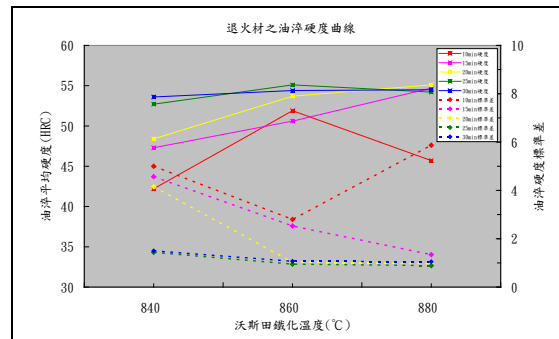


圖 4 熱鍛退火材之淬火硬度曲線

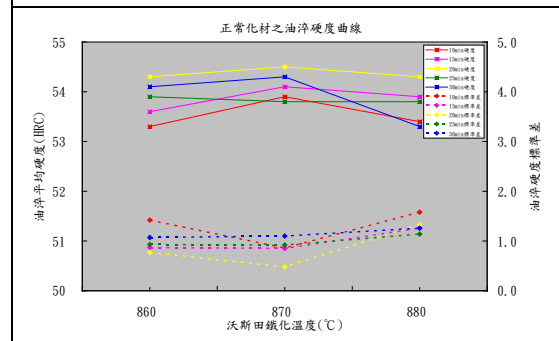


圖 5 正常化材之淬火硬度曲線

表 1 及表 2 分別為熱鍛退火材及正常化材經不同沃斯田鐵化並油淬所得棘輪頭附近(見圖 1)之硬度分佈。

表 1 熱鍛退火材採 860°C 持溫 20min 及 25min 油淬之標示處硬度

40BCRV 熱鍛退火材	點 1	點 2	點 3	點 4	點 5
860°C /20min 油淬	53.1	53.5	52.2	54.3	46.2
860°C /25min 油淬	54.5	54.6	55.2	55.0	52.3

表 2 正常化材採 870°C 持溫 15min 及 20min 油淬之標示處硬度

40BCRV 正常化材	點 1	點 2	點 3	點 4	點 5
870°C /15min 油淬	55.0	54.8	55.5	55.0	55.0
870°C /20min 油淬	54.7	55.0	55.0	54.4	54.6

根據圖 4 及表 1 顯示，熱鍛退火材採 860°C 沃斯田鐵化，試棒持溫時間在 25min 後施以油淬，試棒整體可獲得的硬度分布及變異會最佳。圖 6 則為標示點 1 及點 5 在 860°C 沃斯田鐵化持溫 20 分鐘及 25 分鐘後油淬，所得之掃描式電子影像。由圖 6b 仍可發現少量極容易腐蝕深入之基地，主要為肥粒鐵，當持溫時間增至 25 分鐘再油淬，則腐蝕深入之情況可獲得改善。

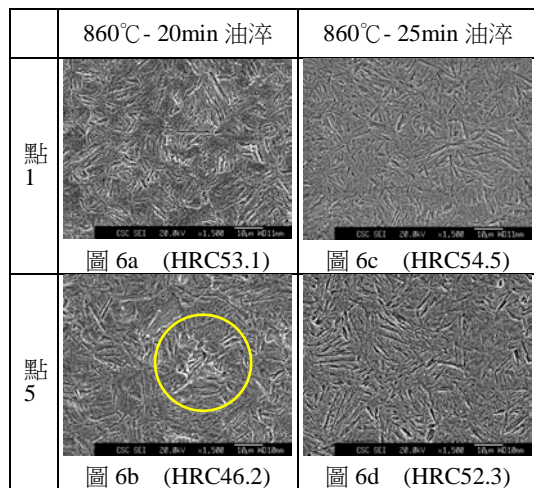


圖 6 熱鍛退火材 860°C 油淬之金相組織

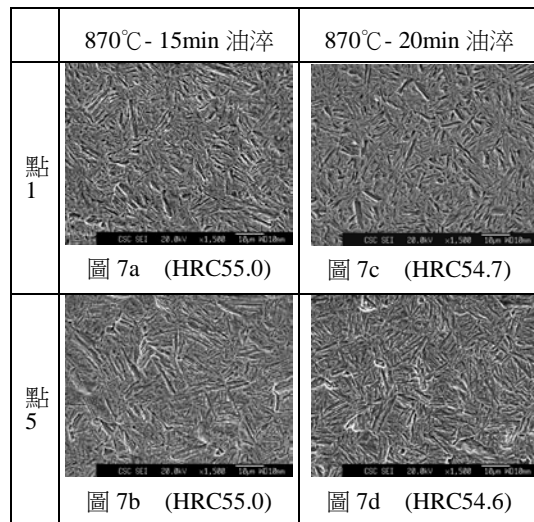


圖 7 正常化材 870°C 油淬之金相組織

根據圖 5 及表 2 顯示，退火材則採 870°C，試棒持溫時間在 15~20min 後施以油淬，試棒整體可得較佳的硬度分布，而持溫 20min 會有較小之硬度變異。圖 7 則為標示點 1 及點 5 在 870°C 沃斯田鐵化持溫 15 分鐘及 20 分鐘後油淬，所得之掃描式電子影像。

根據上述試驗，儘管採退火材施以沃斯田鐵化處理可得變異性較低且硬度分佈較均的材料特性。不過對於大量生產之加工廠而言，熱鍛材多一道正常化將造成製程成本之浪費，因此，在性能與成本兩者兼顧的情況下，寧採硬度變異略大，但仍符合產品性能需求之製程進行批量生產。因此根據成本需求，回火展開則採熱鍛退火材施以 860°C -25min 沃斯田鐵化後 80°C 油淬試棒，進行回火調質。

3.2 回火調質處理

根據上述實驗，回火採熱鍛退火材施以 860°C -25min 沃斯田鐵化後 80°C 油淬試棒，進行不同溫度之回火調質。實驗溫度則設置在 220°C、240°C、260°C 及 280°C 進行 2 小時回火，回火硬度曲線則如圖 8 所示。根據實驗結果，建議廠商採熱鍛退火材施以 860°C -25min 沃斯田鐵化後 80°C 油淬試棒，回火條件採 220°C~240°C 進行調質，硬度滿足 HRC51~53 之間。

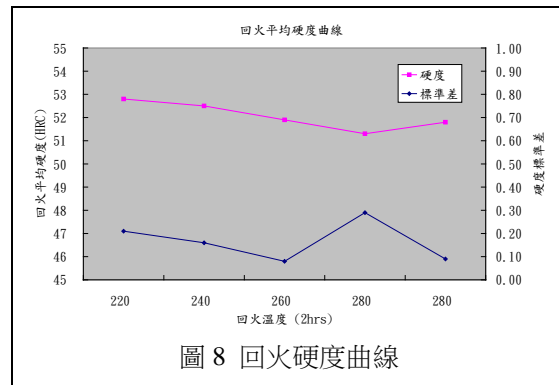


圖 8 回火硬度曲線

3.3 熱處理調質樣品之材料試驗

根據中鋼提供之熱處理條件，需求廠商進行試樣熱處理後，根據評估結果，提供相關試

樣之硬度及扭力值試驗數據如表 3 所示。結果顯示，硬度值大多符合產品需求(僅一點發生偏低)，扭力值皆滿足 DIN 要求值 512N·m 之 1.5 倍以上，即 768N·m 以上。

表 3 史丹利七和提供生產試樣之硬度及扭力值測試數據

	Sample 1	Sample 2	Sample 3	Sample 4	Sample 5	Sample 6
硬度 1 (HRC)	52.5	49	52.5	51.5	52.5	51
硬度 2 (HRC)	51.5	52.5	52	51.5	51.5	51.5
扭力值 (N·m)	796	839	798	888	856	790

除了基本之硬度與扭力試驗外，選擇之 3 個試驗樣本在扭力值 128 N·m 下進行疲勞試驗，皆滿足超越 5 萬次以上之壽命，實際之疲勞壽命更高達 13 萬次以上，顯示具有相當優異之機械特性，滿足客戶需求。

4. 結論

- (1) 客戶根據中鋼提供之熱處理條件，採 40BCrV 鋼種產製之 X 型棘輪扳手之熱處理條件，建議沃斯田鐵化條件為 860~870 °C×25 分鐘→80°C 油淬，回火則採 240°C×2 小時。
- (2) 過去客戶委外熱處理常發生硬度不均之現象，主要為熱鍛退火材基地存在球狀碳化物，因為強碳化物生成元素 Cr 的影響，導致碳化物不容易發生均勻固溶，進而影響淬火硬度。儘管可採正常化材施以熱處理以降低淬火材之硬度變異，但會增加製程成本。故足夠之沃斯田鐵化條件，是使材料硬度變異縮小化之關鍵。
- (3) 根據客戶回饋之產品性能測試，樣品之硬度多能穩定在 HRC50↑(12 個數據只有 1 個是 HRC49)、扭力值 790~888N·m，完全符合 768N·m↑之要求、3 件疲勞壽命試驗之試樣，疲勞壽命皆可滿足 5 萬次以上之

測試要求，且疲勞壽命可達 13 萬次以上，遠超出 5 萬次以上之要求。

5. 致謝

感謝該手工具廠提供相關之試樣與實驗數據回饋，因商業機密關係，則不便透漏公司名稱。

透過此次的合作關係，再次證明中鋼高層決定將研發單位走向 2.5 級產業之決心。透過服務加值的方式，使中鋼鋼料能以最佳的特性落實在客戶端產品之生產。

