

節能高效率之喬米尼實驗裝置 The Energy Saving and High Efficiency Jominy Test Facility

呂理得

Lee-Der Liu

黎明技術學院 創意產品設計系

Department of Innovative Product Design, Lee-Ming Institute of Technology

林本源

Ben-Yuan Lin

黎明技術學院 機械工程系

Department of Mechanical Engineering, Lee-Ming Institute of Technology

劉如真

Ju-Jen Liu

黎明技術學院 創意產品設計系

Department of Innovative Product Design, Lee-Ming Institute of Technology

摘 要

鋼鐵材料的硬化能 (Hardenability) 常以淬火後的硬化深度作為比較標準，在相同的淬火條件下，硬化深度愈深則硬化能愈大，其中喬米尼 (Jominy) 端面淬火法是簡單而常被採用的方法。

本研究之目的係改良本系之喬米尼端面淬火試驗裝置，使淬火架從原先只能放入一個試片改良至能同時放入兩個試片以提高效率，並以小型抽水馬達將淬火用水從淬火槽引回儲水槽，利用儲水槽本身的位能使淬火用水自動流向淬火槽，當兩者達成動態平衡，不僅淬火用水之噴水速率可符合試驗規範，亦可節約用水而不需將淬火用水放流，估計每次試驗可以節省百倍以上之費用。

關鍵詞：熱處理、鋼鐵材料、硬化能。

Abstract

The hardenability of steels always depended on the harden depth. The more harden depth, the better the hardenability. Jominy test is a common and simple method.



The purpose of this article was to approve the using Jominy test facility in our laboratory. We designed two test pieces at the same time instead of one piece to arise test efficiency. Furthermore, we used a small evacuate motor to draw quenching water from quenching tank to storage sink. When the dynamic balance was built, the quenching water lift from storage sink will conform to the specification. It also saves hundred times cost in every test.

Key Words: heat treatment, steels, hardenability.



1. 前言

許多工業上常用的零件須兼有高的強度和韌性，這些零件的熱處理程序需要先把鋼淬火成麻田散體再經回火得到强度高且韌性大的回火麻田散體組織。

熱處理是將材料加熱到一定的溫度，保溫一定的時間後，以一定的速率降溫到室溫或更低，從而達到改善材料組織結構獲得優異的性能，熱處理一般是指對金屬材料特別是鋼材的處理，常用的是正常化、退火、回火和淬火，其中淬火加上高溫回火之兩個程序通常稱為調質。

隨著熱處理技術的進步，熱處理可定義為透過溫度的控制與冷卻速率的調整，來改變材料的特性。例如目前的深冷技術，係將鋼材在淬火後冷卻到攝氏零下約八十度到一百度的熱處理技術。

所以鋼料首先必需透過熱處理程序淬火成麻田散體，亦即變態成麻田散體的難易是選用鋼料須考慮的首要特性，鋼料在淬火處理後能被硬化的難易程度便稱為硬化能，亦即鋼料之淬硬性。[1-2]

2. 理論分析

一般將鋼鐵材料經由淬火處理形成麻田散體組織以得到最大的強度，係將鋼鐵材料加熱到沃斯田體之高溫單相區，迅速施以端面淬火處理後之硬化深度可稱為鋼鐵材料之硬化能，其硬化深度受到以下因素影響。

(1) 合金成份：

欲達到完全變態為麻田散體組織需要有夠快的冷卻速率，以避免在冷卻期間形成肥粒體、波來體或變韌體等組織，所以如果在鋼鐵材料中加入合金元素，可以降低臨界冷卻速率，比較容易變態為麻田散

體組織。

合金元素對鋼鐵材料變態成麻田散體之能力的影響，決定其硬化能，除了合金成分外，所有會影響試片硬化深度的因素，包括試片尺寸和形狀、以及淬火處理條件等均需固定，才能比較其硬化能。

(2) 沃斯田體晶粒大小：

沃斯田體晶粒愈小，晶界所佔的比例愈多，則肥粒體或波來體在晶界成核、成長的機會愈多，將會導致鋼鐵材料硬化能降低。

(3) 淬火溫度：

沃斯田體化的攝氏溫度應高於 A_3 或 A_{cm} 溫度 30 至 50 度，使所有的添加合金完全固溶成沃斯田體，才能獲得最大的硬化能力，若是溫度太高，沃斯田體容易變態為細波來體而使鋼鐵材料硬化能降低。

典型的硬化能曲線，因淬火端冷得最快而擁有最大硬度；對大部份的鋼材而言，在此位置的顯微結構為 100 % 麻田散體。冷卻速率與由淬火端算起之距離成反比，其硬度也跟著減低，由於減小冷卻速率使得碳有更多時間進行擴散，因而產生波來體或變韌體。能夠高度硬化的鋼料在相對長的距離，將能保持高硬度值，因此可加深硬化層厚度及熱處理性能。

(4) 淬火溫度持溫時間：

在沃斯田體化的溫度下，需要靠時間來達成沃斯田體的均質化，如果持溫時間不足造成合金元素分佈不均勻，或是持溫時間過長形成微細碳化物，都會降低鋼鐵材料硬化能。

(5) 淬火介質：

硬化能主要探討合金成分以及淬火速



率對硬度、硬化能及硬化深度的影響。試樣的冷卻速率需視被吸收熱量的速率而定，而吸收熱量的速率除與材料特性有關外，亦與接觸試樣表面之淬火介質的特性，以及試樣尺寸與幾何形狀有關。常用的淬火介質包括水、油和空氣，其中水的冷卻速率最快。其次為油，空氣之冷卻速率最慢。[3-4]

3. 實驗方法

3.1 喬米尼端面淬火法

喬米尼端面淬火法是常用的硬化能測試方法，根據美國試驗材料學會(American Society for Testing Material)規範 ASTM A255，其實驗裝置應如圖 1 所示，試驗裝置的細節如下：[5-8]

- (1) 將實驗用鋼棒作正常化處理，除去表面脫碳層及氧化物層後，加工成長度 4 英吋(或 100 mm)、直徑 1 英吋(或 25mm)。
- (2) 鋼棒架設在淬火架上之凸緣階級長度 0.125 英吋(或 1.8mm)、直徑 1.125 英吋(或 27mm)。
- (3) 試驗裝置的噴水管出口與淬火架底部之距離為 4.5 英吋(或 112 mm)。
- (4) 試驗裝置的噴水管口徑為 0.5 英吋(或 12±1 mm)，未裝上試棒時之自由噴水高度為 2.5 英吋(或 65±5 mm)。
- (5) 淬火水溫保持在 5°C 至 30°C。

試驗裝置佈置妥當後，試驗步驟如下：

- (1) 將正常化處理過的試棒置於高溫爐內加熱至淬火溫度（高於 A_3 或 A_{cm} 溫度 30°C ~ 50°C）。
- (2) 昇溫時間約 30~40 分鐘，在淬火溫度保持 20 分鐘後，快速取出試棒置於淬火架上，使試棒端面承受 10 分鐘以上

的噴水淬火至常溫為止。

- (3) 把淬火後的試棒表面沿軸向的兩側面磨去約 0.4 mm，在磨平之側面上以洛氏硬度計（HRC 或 HRB）量取硬度，硬度測試點以 1/16 英吋為單位逐一測試，從端面開始之測試點示意圖如圖 2 所示。
- (4) 繪製硬化能曲線，各種不同合金成份的之硬化能曲線如圖 3 所示。

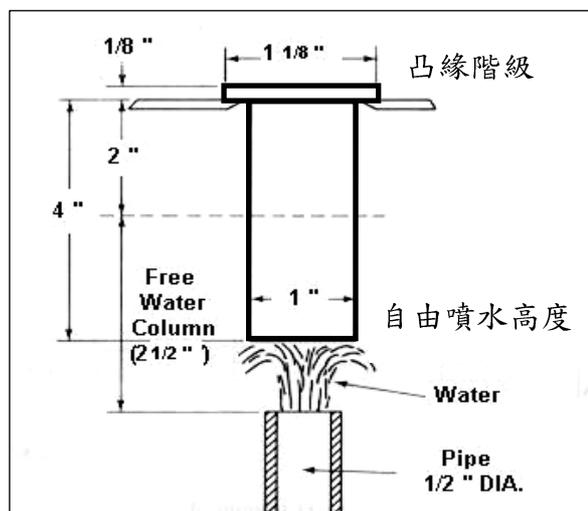


圖 1 喬米尼端面淬火法實驗裝置規範

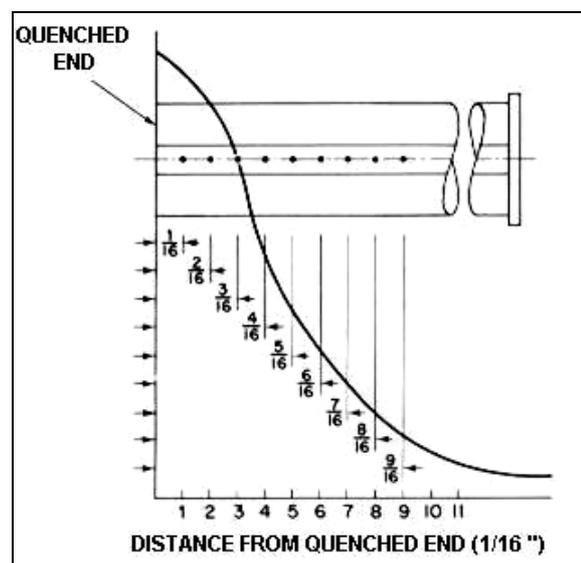


圖 2 喬米尼端面淬火法硬度測試點示意圖



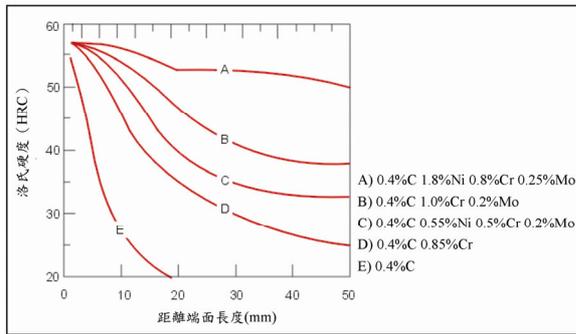


圖 3 各種不同合金成份的試棒之硬化能曲線

3.2 新型之喬米尼淬火法裝置

本實驗室原本之喬米尼淬火裝置係將淬火用水對高溫試棒噴灑後便放流廢棄，不符合經濟效益，因為實驗室水龍頭之出水量每分鐘約 22 公升，若以此舊式設備將使用後的自來水放流，每小時約需耗水 1320 公升(22 公升x60 分鐘)，一門課 3 小時約需耗水 3960 公升(1320 公升x3 小時)，亦即需要耗水 3.960 公乘或 3.960 度

水。若採用最高單價，3.960 度水之費用為 45.54 元(11.5 元x3.960 度)，參考國內水費如表 1 所示。

本文所建置之新型喬米尼淬火法裝置有兩個特點，首先是可以節約能源，本文所建置之新型喬米尼淬火裝置之前視圖如圖 4 所示，儲水槽的高度約 800mm，當儲水槽注滿時，儲水槽的靜水壓力可以提供噴水口所需之壓力，將淬火水噴至所需的自由高度。

表 1 2011 年國內水費收費表

現行水價	範圍(度)	每度(元)
第一段	10 以下	7.7
第二段	11 至 30	9
第三段	31 至 50	11
第四段	51 以上	11.5

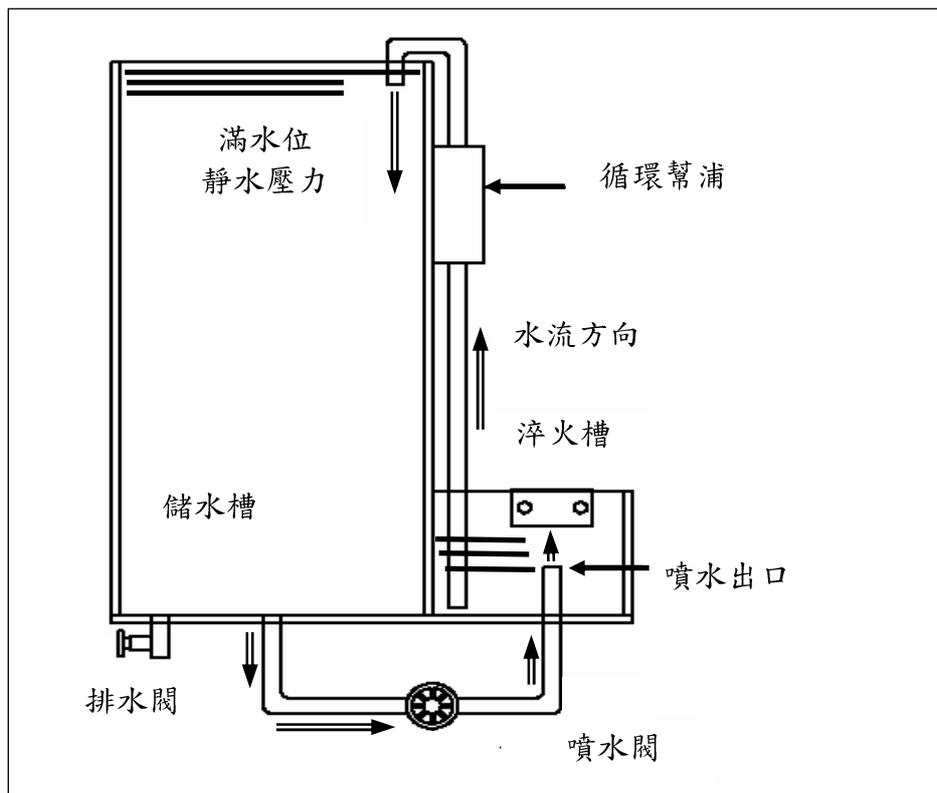


圖 4 新型喬米尼淬火裝置之前視圖



此淬火裝置設一個小型抽水馬達作為循環幫浦，當淬火槽累積了淬火用水，循環幫浦便可將淬火槽中的淬火用水抽回儲水槽，此動態平衡可以提供噴水口持續噴水，又可重複使用淬火用水，所以儲水槽只需注滿一次即可，可以達到節約能源的目的，並且儲水槽可維持淬火用水的水溫在正常使用範圍，不致影響實驗結果。

若以所需的電費與耗用之水費比較，新型喬米尼淬火裝置之抽水馬達功率為 33W, (0.033kW)，以一門課 3 小時計算，約需 0.099 kW-hour(0.033×3)，亦即需要耗電 0.099 度。參考國內電費如表 2 所示，若採用最高單價，僅需 0.343 元，(每度電 3.465 元×0.099 度電)，與前述耗水之費用 45.54 元比較，可節省一百倍以上的費用。

表 2 2011 年國內電費收費表

現行電價	範圍(度)	每度(元)
第一段	110 以下	2.100
第二段	111~330	2.730
第三段	331~500	3.360
第四段	501 以上	3.465

本文所建置之新型喬米尼淬火裝置第二個特點是可以提高效率，本實驗室原本的喬米尼端面淬火試驗裝置之淬火架一次只能放入一個試棒，本文所建置之新型喬米尼淬火法裝置之俯視圖如圖 5 所示，淬火架上可以同時放入兩個試棒，在不影響試驗規範的前提下，可以達到兩個試棒同時試驗的目標，不僅提升教學品質，更可促進師生良好的學習互動。

3.3 新型之喬米尼淬火裝置測試

我們以新型喬米尼淬火裝置測試相同成份試棒之硬化能，實驗之結果如圖 6 所示，經過測試後發現同時進行端面淬火的兩支試棒之硬化能曲線並無明顯差異，圖中顯示，實心符號之硬化能曲線為第一支試棒，空心符號之硬化能曲線為第二支試棒，兩支試棒之硬化能曲線特性可得到相同的結果。

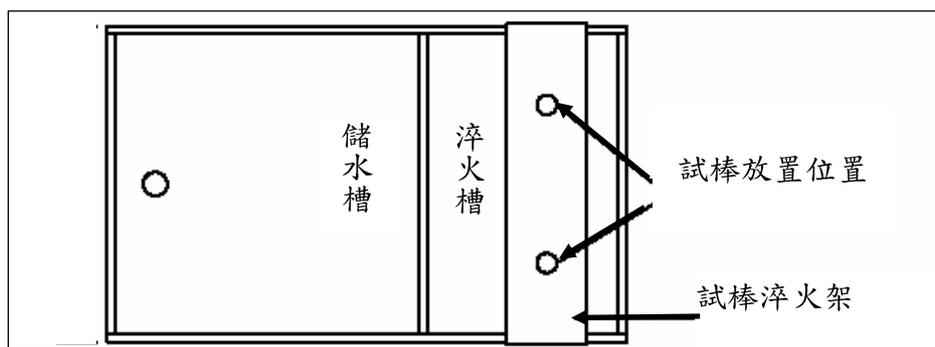


圖 5 新型喬米尼淬火裝置之俯視圖



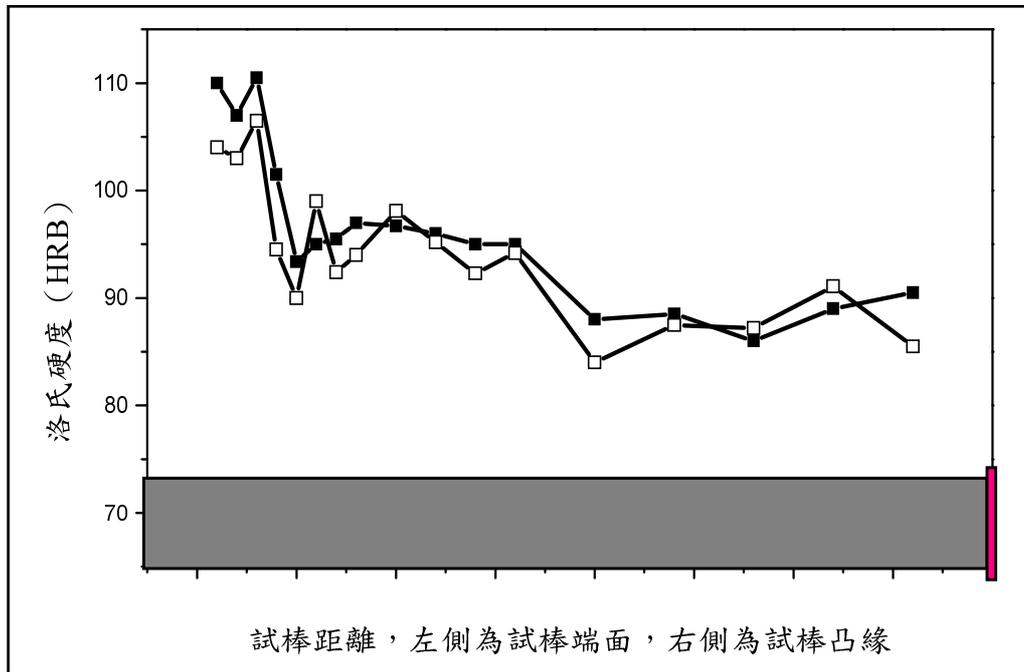


圖 6 以新型喬米尼淬火裝置測試相同成份試棒之硬化能結果

4. 結論

由以上的實驗及討論，可以得到下列結論：

1. 本文所建置之新型喬米尼淬火法裝置與原本的試驗裝置比較，可以節約能源，節省一百倍以上的費用。
2. 本文所建置之新型喬米尼淬火法裝置與原本的試驗裝置比較，可以提高效率，同時測試兩個試棒。
3. 本文所建置之新型喬米尼淬火法裝置，同時測試兩支試棒之硬化能曲線特性可得到幾乎相同的結果。

參考文獻

1. Donald R. Askeland, Pradeep P. Phule, The science and engineering of materials, 4th edition, Thomson learning Inc., pp. 232-250, 2005.
2. ASTM Handbook, Volume 8, Mechanical Testing and Evaluation, The Materials Information Society, (2000), pp. 124-142.
3. ASTM Handbook, Volume 2, Properties and Selection: Nonferrous Alloys and Special - Purpose Materials, The Materials Information Society, (2000), pp. 62-122.
4. Harmer E. Davis, George Earl Troxell and George F. W. Hauck, The Testing of Engineering Materials, Fourth Edition, McGraw-Hill Book Company, pp. 140-146, 1990.
5. 李正國、李志偉、林本源、邱錫榮、陳文嘉、傅豪、蔡履文，熱處理，高立出版社，2009年。
6. 李金山、吳炳男、陳石法、張添財、蔡希杰，機械材料，新科技出版社，2009年。
7. 黃振賢、蔡錫饒，材料實驗，文京圖書，2004年。
8. 中華民國國家標準 CNS G2021。

