

PVP 型高分子淬火介質於鋼料淬火應用上之研究

施永村^{1*}、曾春風²

¹ 梧濟工業股份有限公司

² 國立虎尾科技大學綠色能源工程所

*E-mail: tom_shin@wujii.com.tw

摘要

本論文主要是探討 PVP 型 SQ1501 高分子淬火液於鋼料淬火時，淬火液參數之濃度、攪拌程度、溫度等控制因子對鋼料淬火的影響。數種鋼料(JIS-SKT4、B30PH、4M、AISI-4140M、JIS-SCM440)試片除實驗室之淬火實驗之外，並進行產品之工廠生產(熱處理)驗證。

實驗室實驗結果所得到的 PVP 型 SQ1501 高分子淬火液最佳參數為濃度 14.3%、中等攪拌流速約 0.1m/s、室溫；在此參數下，JIS -SKT4、B30PH、4M、4140M 鋼料淬火均可得到良好硬化均勻性；但對硬化能低的 JIS -SCM440 鋼棒的淬火結果仍不甚理想；實驗過程發現空氣會影響高分子淬火液的沸騰階段冷卻速率，造成淬火的硬度嚴重不足，攪拌循環需注意避免空氣的捲入。

關鍵詞：高分子淬火液、濃度、攪拌程度、最佳參數、硬化均勻性

Abstract

The article is to investigate the effect of quenchant parameters of concentration, fluid velocity (agitation intensity), temperature for PVP type SQ1501 aqueous polymer quenchant on quenching characteristics of steel by a series of experiments. Quenching experiments of some kinds selected steel alloy materials (JIS-SKT4, B30PH, 4M, AISI-4140M and JIS-SCM440) specimens were conducted at laboratory; a series of pilot tests of steel products at the heat treatment factory also were carried out to demonstrate the experimental results.

According to the experiment results from laboratory, the optimum parameter of PVP type SQ1501 aqueous polymer quenchant is 14.3% concentration, middle agitation intensity (fluid velocity is about 0.05 ~0.1m/s); and quenchant temperature is at room temperature. The above selected steel alloy materials JIS-SKT4, B30PH, 4M and AISI-4140M will obtain good harden uniformity as they were quenched in PVP type SQ1501 aqueous polymer quenchant under this optimum parameter. But the hardness of low hardenability alloy bar steel JIS-SCM440 can not fit the hardness demand; it is founded that the trapped air will affect cooling rate of polymer quenchant at boiling stage during experiment process, it will cause seriously the hardness drop; thus it is necessary to avoid air entrapping during cycling agitation.

Keywords: polymer quenchant, concentration, agitation intensity, harden uniformity, optimum parameter

1.前言

台灣熱處理產業十分興盛，目前約85%以上的熱處理廠淬火介質最常使用礦物性淬火油。在淬火過程中，因為高溫工件使得油瞬間燃燒或熱油蒸發產生油煙，造成廠房及周遭環境污染，也衍生工安及環保問題。歐美各國使用高分子淬火液已經相當普遍，國內部分熱處理廠之高週波感應硬化淬火會使用高分子淬火液；但一般進行淬火回火(調質)製程的熱處理廠，對於高分子淬火液是又愛又恨，愛它綠能環保，恨它難以捉摸控制(熱處理淬裂的品質問題)，所以國內運用高分子淬火液進行淬火的廠商屈指可數。此乃熱處理廠淬火時使用高分子淬火液產生了一些品質控制不良問題，進而對高分子淬火液介質排斥，究其緣由是因熱處理廠對高分子淬火液的特性與控制因子不夠了解導致。

鋼鐵要發揮其使用性能必須施予熱處理，尤其鋼鐵材料為了提高強硬度最常進行淬火(及回火)熱處理；在淬火時可利用不同介質來進行冷卻，淬火介質的冷卻特性將影響淬火後鋼料的性能，因此選用淬火介質前需先了解淬火介質的冷卻過程與特性，數種淬火介質之冷卻特性曲線如圖1。

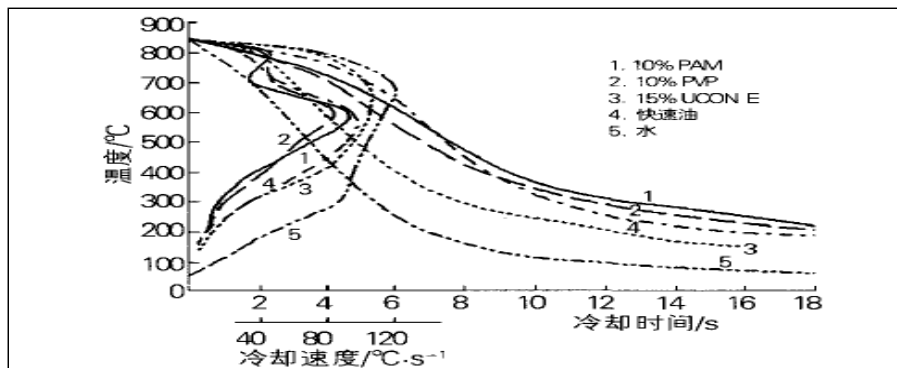


圖1. 數種淬火介質之冷卻特性曲線[1]

2. 實驗方法與步驟

2.1 實驗設備

2.1.1 第一代淬火設備原型如圖 2. (左)，第二代淬火設備改良版如圖 2. (右)，熱處理工廠設備如圖 3。。

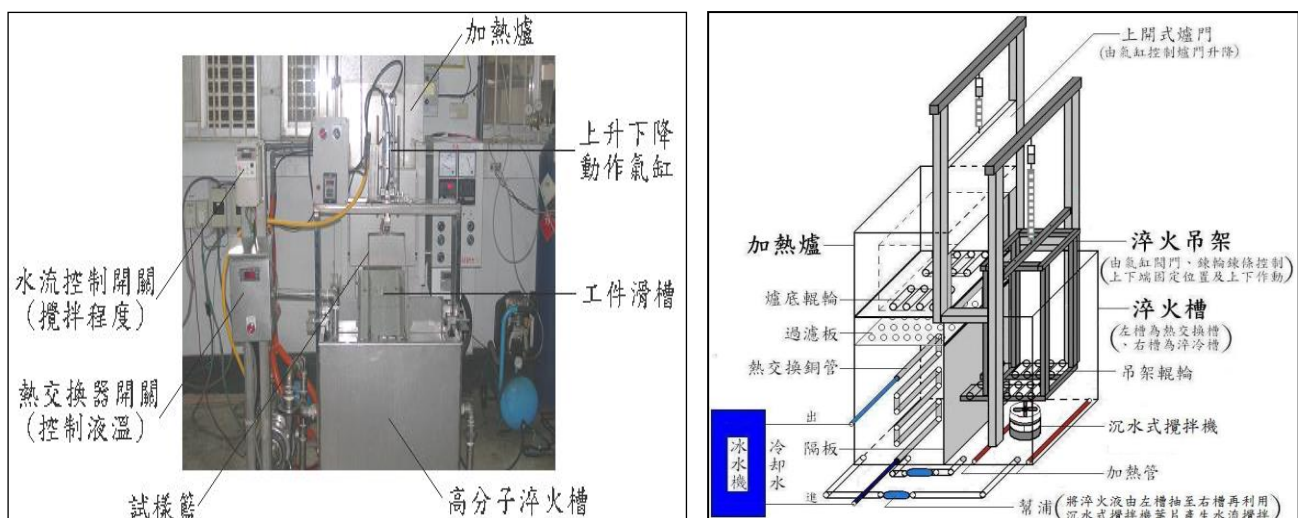


圖 2. (左)第一代實驗系統及設備，(右) 第二代實驗系統及設備



圖 3. 熱處理工廠設備:(a) 坑式氣氛保護加熱爐，(b)高分子淬火槽

2.2 實驗材料

2.2.1 PVP 高分子淬火液

本研究用為淬火介質之高分子淬火液為水溶性聚乙炔吡咯烷酮(Polyvinyl Pyrrolidone, PVP 型)，化學組成與規格如表 1.。

2.2.2 鋼料試樣

實驗鋼料詳細化學成分與尺寸如表 2.。

2.3 實驗參數

PVP 高分子淬火液參數如表 3.。另外由工研院根據 ASTM D6482 標準建置之「IVF 淬火試驗」設備，量測不同濃度 PVP 高分子淬火液之冷卻速率曲線，作為衡量評估 PVP 高分子淬火液淬火特性的檢測依據，不同濃度淬火液經由「IVF 淬火試驗」設備量測之淬火特性。

表 1. PVP 高分子淬火液化學組成

高分子淬火液	化 學 組 成	規格
聚乙炔吡咯烷酮	POLYVINYLPIRROLIDINONE	➤Mw: 806,811 g/mol ➤ Mn: 513,358 g/mol ➤Solid Content: 26.78% ➤Viscosity: 1,300 cps ➤pH: 8.53 @ 25.2 °C ➤殘存單體量：450ppm

表 2. 鋼料試樣化學成分(wt%)

元素 鋼種	C	Si	Mn	Ni	Cr	Mo	V	尺寸 mm
SKT4	0.54	0.25	0.80	1.70	1.10	0.50	0.10	120 立方體
B30PH	0.26	0.20	1.50	0.80	1.10	0.50	0.05	120 立方體
4M	0.40	0.20	0.80	0.10	1.14	0.216	***	110 立方體
4140M	0.40	0.30	1.10	0.30	0.80	0.20	***	100 立方體
SCM440	0.38	0.3	0.75	***	1.0	0.2	***	Φ90 x L 120
SCM440 (註 1)	0.38	0.3	0.75	***	1.0	0.2	***	厚度 45、55、65 x150x150

註 1: 運用第二代實驗設備進行淬火實驗

表 3. PVP 高分子淬火液參數

淬火液參數		參 數 內 容	備 註
濃度		①5.9% ②7.7% ③9.0% ④11.1%⑤14.3% ⑥20%	
液溫		①室溫(26℃) ②50℃	
攪拌 程度 (流速)	第一代 設備	① 0.05 m/s ② 0.05~0.1m/s ③ 0.2~0.3m/s	以雙頻變頻馬達改變幫浦進出口淬火液流量，以控制淬火槽內高分子淬火液流速。
	第二代 設備	① 0.2m/s ② 0.4~0.6m/s ③ 0.8~1.0m/s	以變頻器控制沉水式攪拌器的轉速，以控制淬火槽內高分子淬火液流速。

3. 結果與討論

3.1 淬火液攪拌程度對淬火剖面硬度之影響

將高分子淬火液濃度 (SQ/水)設為 14.3%，淬火液溫度為室溫(26℃)，攪拌程度(流速)由 0.05m/s、0.05~0.1m/s、0.2~0.3m/s 變化，鋼料試樣沃斯田鐵化、淬冷，截開試樣以洛氏硬度試驗機量測 HRC 硬度，硬度量測。

圖 4a. 及圖 4b. 可知對 SKT4 及 B30PH 而言，攪拌程度大者有助於心部硬度的提升。

圖 4c. 及圖 4d. 可知對 4 M 及 4140M 而言，硬度並無太大變化，此顯示淬火液攪拌程度不太影響 4 M 及 4140M 的淬火效果。

圖 4a.、圖 4b.、圖 4d. 可知 SKT4、B30PH、4140M 三種鋼料在濃度 14.3%，不同攪拌剖面淬火硬度差都可維持在小於 HRC4 內(<4)。

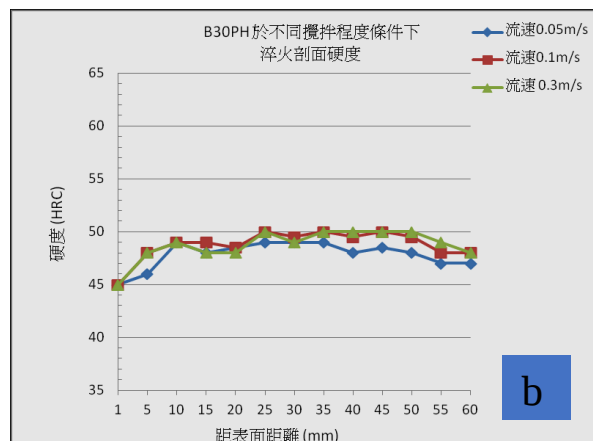
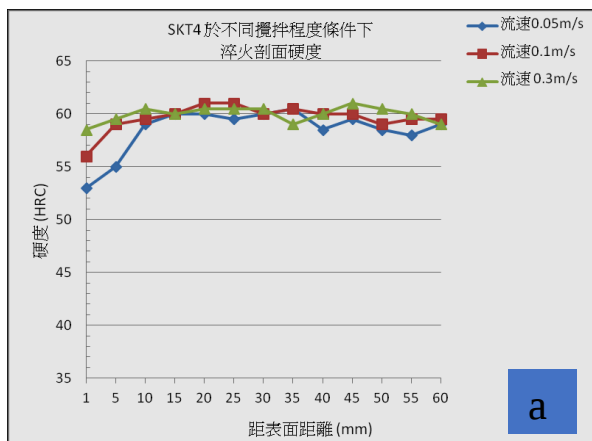
圖 4c. 之結果，4M 在攪拌程度(流速)0.05m/s、0.05~0.1m/s、0.2~0.3m/s、高分子淬火液濃度 14.3%於室溫下淬冷，回火時間不能太長。

圖 5 之結果，SCM440 棒材在不同攪拌程度，硬度數據的顯示，攪拌程度提高對淬火硬度是可提升改善的。

3.2 淬火液濃度對淬火剖面硬度之影響

淬火液溫度固定於 26℃，攪拌程度(流速)為 0.1m/s，將淬火液濃度由 14.3%增加至 20%，以了解淬火液濃度之影響。圖 5a. 5b。

淬火液濃度由 14.3%增加至 20%時，SKT4、B30PH、4140M 等之硬度稍微下降大約 HRC1~2，而 4M 之硬度下降約 HRC3~4，比較淬火液濃度對這四種鋼料淬火硬度的影響發現，淬火液濃度由 14.3%增加至 20%時，SKT4 淬火硬度下降較小，4M 之硬度下降最大，由以上結果可知淬火液濃度增加將會降低硬度值。



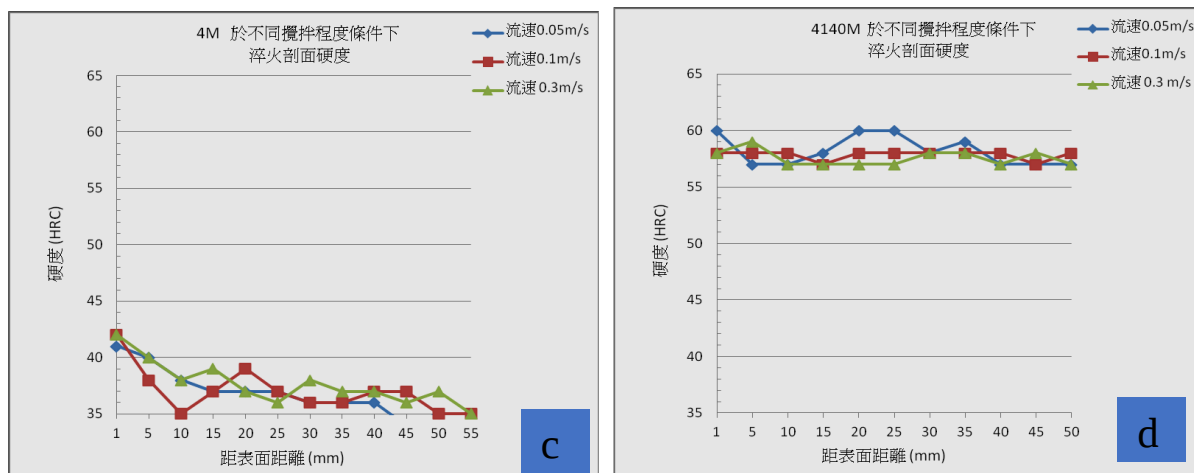


圖 4 .剖面硬度 (a) SKT4、(b)B30PH、(c)4M、(d)4140M

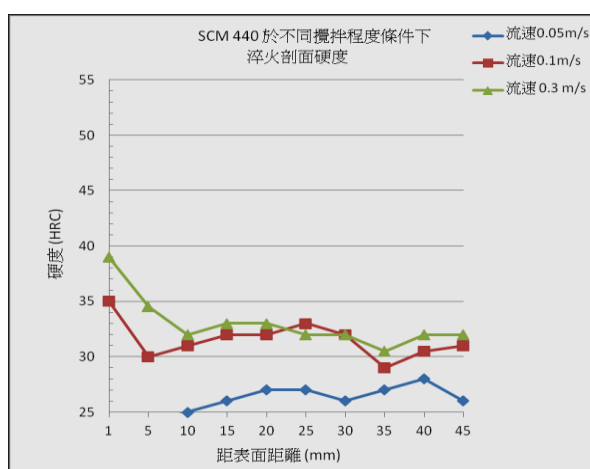


圖 4 .剖面硬度 SCM4140

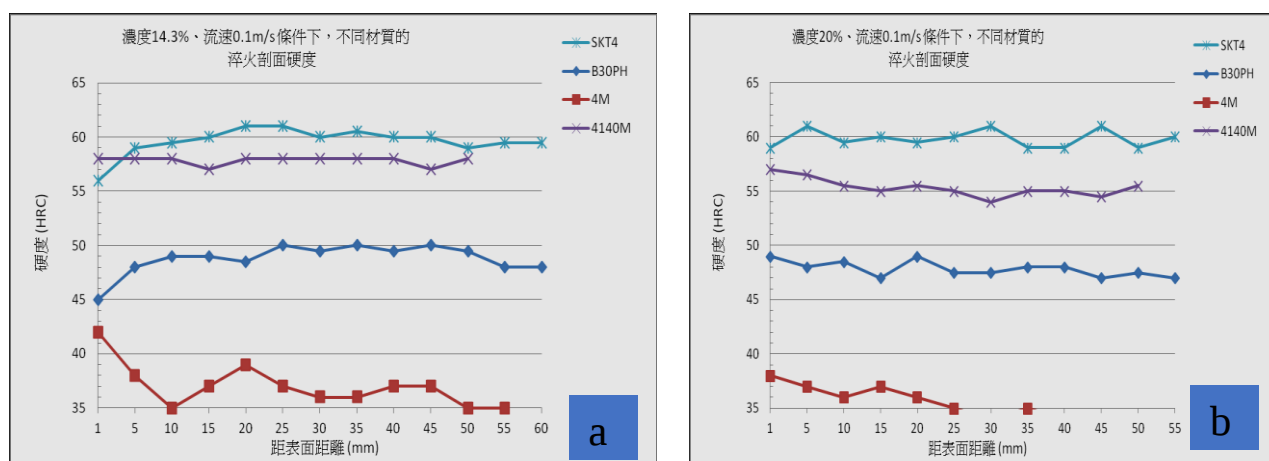


圖 5.淬火液濃度對剖面硬度的影響,(a) PVP 濃度 14.3%、(b)PVP 濃度 20%

3.3 淬火液溫度對淬火剖面硬度之影響

淬火液濃度固定為14.3%，攪拌程度(流速)為0.1m/s，將淬火液溫度由26℃提高至50℃，以了解淬火液溫度之影響，硬度曲線結果比較圖6a, 6b。

淬火液溫度愈高，黏度愈低而流動性愈好，有助於淬火液帶走工件的熱量；但相對的，

淬火液溫度愈高，吸收熱量效果愈差，有礙於工件熱量被吸收，因此淬火液溫度會影響工件的冷速。由上述實驗結果可知，淬火液溫度提高反而降低工件冷卻速率，進而影響淬火效果。

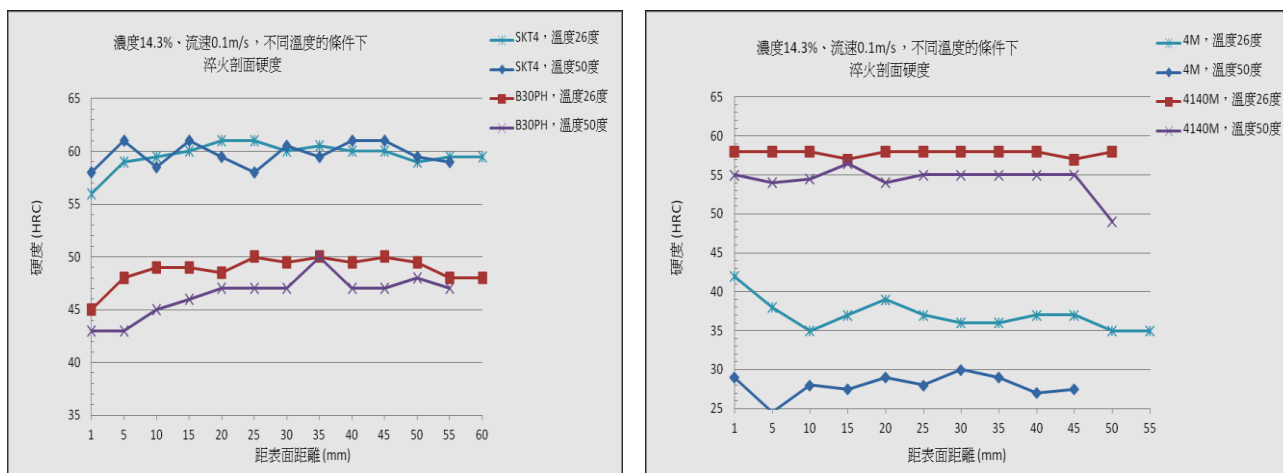


圖6. 淬火液溫度對不同材質的剖面硬度影響

3.4 淬火液濃度對淬火回火破裂之影響

攪拌程度(流速)設為 0.1m/s，淬火液溫度 26°C，將淬火液濃度由 14.3%降低至 11.1%、9.0%、7.7%，上述 SKT4、B30PH、4M 及 4140M 等四種立方體試樣測試結果如表 4.。由結果可知，硬化能較好且含碳量較高之 SKT4 及 4140M 在淬火液濃度降至 9.0%時即產生淬裂，此也限制了在攪拌程度(流速) 0.1m/s，這二種鋼材淬火時淬火液使用的濃度需在 9.0%以上以避免淬裂。B30PH 硬化能也高但含碳量較低、以及 4M 含碳量較高但硬化能低者，即使淬火液濃度降至 7.7%，仍然不會產生淬裂。上述試樣淬火時未淬裂者，接著繼續回火也不會產生破裂。

表 4. 不同淬火液濃度對淬火回火破裂之影響

鋼種 濃度	SKT4	B30PH	4M	4140M
11.1%	✓			✓
9.0%	×	✓	✓	×
7.7%		✓	✓	

註：×表示淬裂、✓表示未淬裂且回火也未破裂

3.5 試樣截面顯微組織之觀察

高分子淬火液濃度為14.3%，淬火液溫度為室溫(26°C)，攪拌程度(流速) 0.1m/s，的樣品中心部份之顯微組織，圖7a. 為SKT4的顯微組織結果，圖7b. 為B30PH的結果，圖7c. 為4M 的結果，中心部份組織夾雜麻田散鐵、變韌鐵、波來鐵顯示冷速不足無法完全逃過波來鐵鼻端或4M硬化能差的本質。4M基本上硬化能不高，硬化能類似於SCM440，比4140M差，源於的Mn含量僅0.8%。圖7d. 由於4140M是4140改良鋼，含有較高的Mn並加入0.3%Ni，大大提升此鋼種的硬化能。

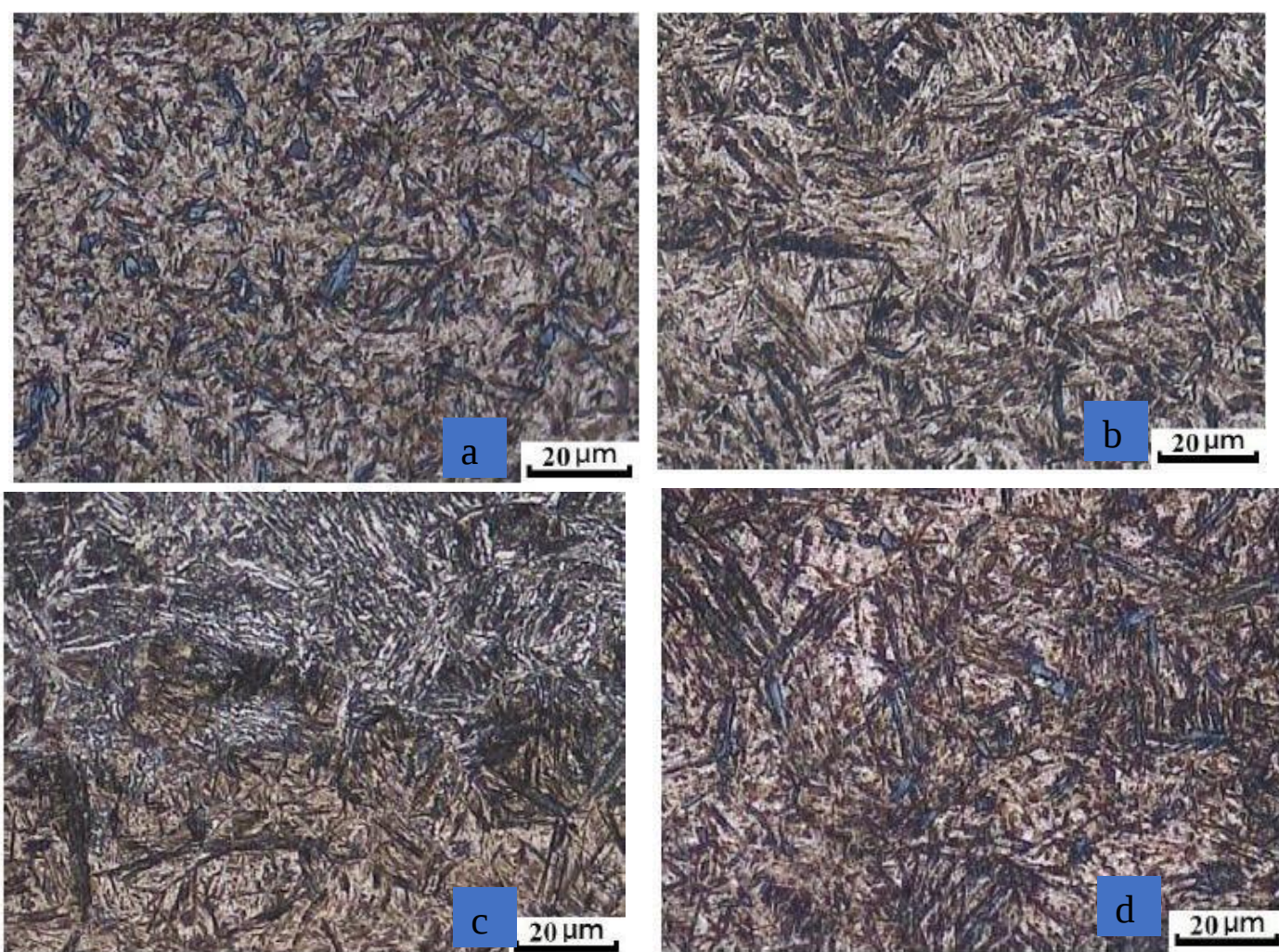


圖7.試樣中心金相組織比較，(a) SKT4，(b) B30PH，(c)4M，(d)4140M

3.6 實驗過程中的黑洞現象

此運用第二代淬火設備對 SCM440 板材進行淬火(淬冷槽與預備槽水位差 50 公分)。在不同的攪拌程度(流速約 0.1~0.8m/s)淬火硬度不足，改調降濃度到 11.1%，不同的攪拌程度(流速約 0.1~0.8m/s)，一樣為淬火失敗；對於試樣於不同濃度與攪拌程度組合的參數，仍無法使 SCM440 材料達到淬火硬化，百思不解其原因，在一次陰錯陽差的淬火過程，攪拌器的啟動時間有些延誤，淬火過程產生巨大水鳴聲長達 45 秒，試樣的淬火硬度 HRC 42~51；比對實驗記錄後發現攪拌後淬火液顏色是有明顯差異，淬火液琥珀色與乳白色如圖 8。淬火時的水鳴聲大小或時間長短，決定沸騰階段的散熱；無水鳴或微弱水鳴代表高分子蒸汽膜未爆破，工件熱量無法快速散出，所以進入波來鐵鼻端，造成淬火硬度不足。

空氣的通入可能會導致工件表面粘附有氣泡，同時對工件表面熱量的傳遞產生影響。可說明高分子淬火液捲入過多的空氣會嚴重影響到冷卻效能進而造成淬火後硬度的嚴重不足。

誠如 H. M. Tensi,[2]等人闡明淬火槽像個黑洞，因通常無法穿過淬火液觀察到淬火過程的工件表面熱傳機制；但此次的研究過程，我們幸運的觀察發現到很多關於攪拌的問題現象，並改善解決問題，使研究數據是正確可被熱處理廠實務運用。

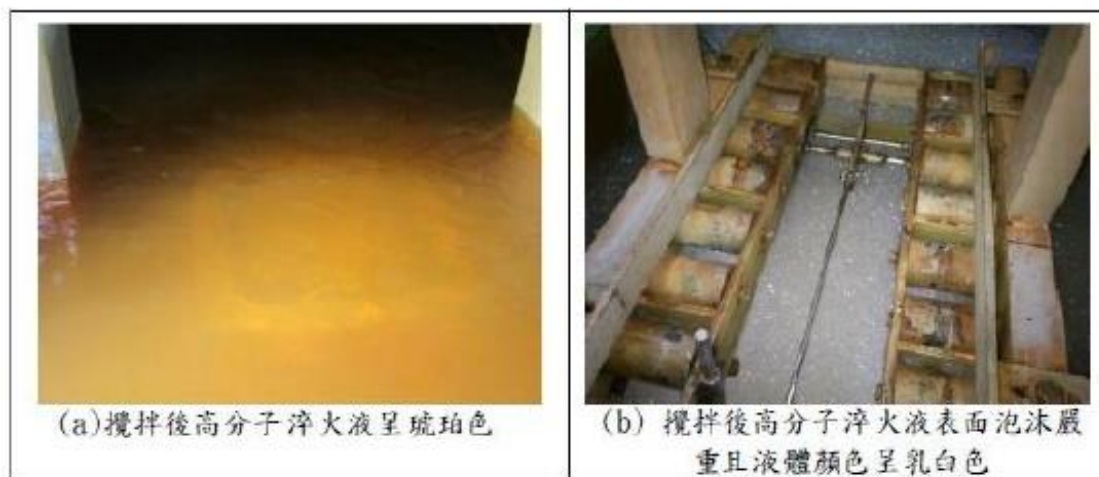


圖8. 高分子淬火液攪拌後的顏色差異

4. 結論

本研究藉由一系列的實驗以了解PVP型SQ1501高分子淬火液的濃度管理(高分子或水的揮發可由折光計檢測管理)、溫度、攪拌程度(流速)等參數對JIS-SKT4、B30PH、4M、4140M等鋼料，SCM440圓棒材、板材淬火硬化之影響，本研究的實驗結果，得到以下結論：

1. 在攪拌程度(流速) 0.1m/s、室溫下，高分子淬火液濃度 14.3%提高至 20%時將降低JIS SKT4、B30PH、4M、4140M等鋼料淬火後整體硬度，當高分子濃度降至 9.1%將造成高硬化能合金鋼材 JIS-SKT4、4140M 之淬裂[3]；當高分子淬火液濃度降低到 5.9%時，低硬化能 JIS-SCM440 淬火表面硬度提升至約 HRC52~55。

2. 高分子淬火液攪拌程度(流速)對高硬化能合金鋼(JIS-SKT4、B30PH、4140M)之淬火後硬度影響程度不大；但攪拌程度(流速)對低硬化能的 JIS-SCM440 鋼料的淬火硬度影響程度較大。

3. 在濃度 14.3%、攪拌程度(流速) 0.1m/s 時，高分子淬火液溫度由 26°C 增加至 50°C，JIS-SKT4、B30PH、JIS-4140M 等三類鋼材之淬火硬度小幅下降約 HRC2~3，但 4M 鋼材淬火硬度大幅下降 HRC9~10。

4. 實驗室實驗結果所得到的 PVP 型 SQ1501 高分子淬火液最佳參數為濃度 14.3%、中等攪拌流速約 0.1m/s、液溫 26°C(室溫)；在此參數下，JIS-SKT4、B30PH、4M、4140M 鋼料淬火均可得到良好硬化均勻性；但對硬化能低的 JIS-SCM440 鋼棒的淬火結果仍不甚理想。

5. 實驗過程發現，高分子淬火液攪拌必須嚴格管控空氣的捲入與混合的因素；高分子淬火液若捲入大量空氣，導致工件的降溫速度變得很緩慢，淬火失敗。

6. 淬火過程三階段的沸騰階段，會產生水鳴聲，當到達對流階段水鳴聲就消失，高分子濃度與攪拌程度(流速)會影響水鳴聲的時間長短[4]，濃度降低與攪拌程度(流速)提高則水鳴聲時間會縮短。

5. 參考文獻

- [1] 薄鑫濤、周 珊 珊，UCON E 型淬火介質在大模組工件上的應用，《金屬熱處理》，2006 年第 31 卷第 9 期
- [2] H. M.Tensi, K.Lanier, G. E.Totten, G. M.Webster, “Quenching uniformity and surface cooling mechanisms”, Heat Treating Proceedings of the 16th Conference, Mar, 1996, pp, 3-8.
- [3] 陳春懷、周敬恩，使用聚合物淬火劑出現變形和開裂傾向的原因和對策，兵器材料科學與工程，第 24 卷第 5 期(2001. 09)
- [4] 張薰圭，水溶性冷卻劑的管理使用，金屬熱處理，第 72 期(2002.3)