

超冷處理對 DC53 模具鋼尺寸穩定性影響探討

Effect of Cryogenic Treatment on the Dimensional Stability of DC53 Mold Steel

徐翊修¹ 黃立仁^{*1} 徐培欽²¹Yu-Show Shui, ¹Lih-Ren Hwang, ²Pei-Chin Shui¹中州科技大學 ²台灣超冷科技股份有限公司

電話:0955-540883 E-mail:mei0208@livemail.tw

摘要

本研究旨在探討沖壓模具之前製程，即材料機械性質之標準熱處理程序與延伸之處理程序深冷處理與超冷處理，對模具成形後之加工尺寸的維持與影響。本研究實驗之進行採用三塊(編號 A, B, C)相同之冷作合金鋼 AISI DC53，分別以相同之機械加工(取材之削、銑加工)、與相同之標準熱處理定為本次實驗之固定條件後。將編號 B 模板延伸進行深冷處理，將編號 C 模板延伸進行超冷處理，再進行模擬沖壓模具之標準製作程序，平面研磨(粗)，線切割(粗)、平面研磨(細)，線切割(細修)等三塊模板之共同條件。再進行為期六個月不同時間之 3D 量測，以模具完成時間為基準日，以模擬工業界模具成型後可能產生變更設計的流程以觀察模板尺寸之穩定，量測的方法，從模板建立 0 點對各切割孔之中心點量測與記錄，後建立圖表說明。

關鍵詞: 超冷處理、DC53、尺寸穩定度

一、前言

1.1 鋼種介紹

工模具用鋼依化學成分可以分為碳素工具鋼、合金工具鋼、高速工具鋼，且依用途又可以分為刀具鋼、冷作模具鋼、熱作模具鋼等。而工模具鋼藉由適當的熱處理後具有高硬度及抗磨耗特性，通常其化學組成內含有Cr、Mo、V、P 及Mn 等元素。此外，工模具鋼之強度與淬火、回火等熱處理條件有非常密切的關係，一般多應用在加工成型製造時的模具材料、切削工具或特殊機構元件上。因此工模具鋼應具備有下列幾項特[1~3]：耐磨耗性佳、韌性佳、耐壓强度高、熱處理變形量小、優良的機械成型性、不易發生熱疲勞破裂、耐破損性，包括適當的抗氧化性及耐腐蝕性。

1.2 DC53 材料特性

DC53 之三個優良特性(1)熱處理硬度比 SKD11 高，保證在高溫回火 (520°C~530°C) 可得 HRC62~HRC63 之硬度，因此強度及耐磨耗性比 SKD11 更能發揮其性能。(2)韌性比 SKD11 高二倍，在冷加工用工具鋼中韌性最高，因此可防止工具、模具之龜裂與崩缺，提高模具壽命。(3)可改善 SKD11 之巨大碳化物，巨大碳化物之大小，改善為 SKD11 的 1/3 以下，因此可防止造成模具損傷原因之刀口碎裂等。化學成份如表 1 所示：

表1 DC53與SKD11之化學成份(%)

	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	V
DC53	0.90~1.00	-	-	<0.030	<0.030	7.00~9.00	0.80~2.20	-
SKD11	1.40~1.60	<0.40	<0.60-	<0.040	<0.030	11.0~13.0	0.80~1.20	-

1.3 超冷處理

超冷處理之目的 針對碳工具鋼而言，超深冷處理目的為將殘留沃斯田鐵完全轉變成麻田散鐵、使組織細膩、結構均勻並析出微細碳化物，以強化基材、消除殘留應力。這與影響耐磨耗性的因素相符合，因此可改善鋼材的耐磨耗性。實驗方法為準備一個密閉空間，使用液態氮將溫度降至所需低溫，接著把材料放置於密閉空間中，保持一段時間，再取出，冷處理分為深冷處理（sub-zero treatment -78°C ）與超深冷處理（cryogenic treatment -196°C ），兩者在實驗方法上完全一樣，僅處理溫度不同，而兩者所做出來的結果顯示超深冷試片的耐磨耗性優於深冷試片[4]。

1.4 超冷處理的應用

熱處理的精華在溫度以及時間和氣氛控制比此環環相扣，而對熱處理後的材料只依其淬火後的硬度質來作為依據是不夠的，材料的組織結構，晶粒大小，內能多少，才是影響材料的壽命因素，目前業者均以習慣性來面對這個問題，這也是歐美、日等其他產地的刀工具，品質壽命比較優良的原因。超冷處理對模具加工所產生的慮點及破壞，效益就非常顯著，對線切割及放電加工後因熱震現象破壞材料予以應力的消除及恢復材料的組織平衡，提高疲勞強度。在正常熱處理後施以超冷處理，可得 97%~98%麻田散鐵量細膩均勻的組織，有效的消除殘留應力，擁有極高的尺寸穩定性。

二、文獻回顧

2.1 超深冷處理的研究

由超深冷處理對AISI D2 工具鋼耐磨耗性質之研究可知，經過超深冷處理的工具鋼可增加HRC 3 的硬度值，由超深冷處理後低溫回火殘留沃斯田鐵量比傳統淬火後低溫回火所殘留沃斯田體量減少約35%，D2 工具鋼以快速冷卻速率可以得到最好的磨耗抵抗，是因為可以得到優良的碳化物[4] [7]。

在學者孫佳宏的研究中，證明降低冷處理溫度可以增加硬度，是因為在低溫時可以產生活化的能量使得殘留沃斯田體轉換成麻田散體，是因為有碳化物析出，增加磨耗抵抗的主要原因，在 -196°C 的環境中，殘留沃斯田體會轉換成麻田散體，同時會在麻田散體基地內會析出 ϵ -碳化物，這析出物會提高硬度與韌性[8~12]。

2.2 各項影響零件熱處理變形之因素

一般熱處理變形，可分為可避免與不可避免之變形，其中可避免之變形是指人為可控制因素，如殘留應力的消除、新應力的產生、工件不同體積變化等。而不可避免之變形則為人為不可控制因素，如熱處理中所產的熱應力與相變應力，其中影響熱應力因素為冷卻速度、淬、回火溫度、工件截面尺寸、工件形狀等；影響相變應力因素則為工件材料之硬化能、碳含量、合金元素、原始組織、纖維方向等。

所謂熱處理變形，是指零件在熱處理後，其變形量超過圖面公差要求的一種現象，為一種熱處理缺陷。零件在熱處理製程中，造成變形的因素有很多，如零件的粗胚經過鍛造就有鍛造應力產生，而鍛胚在退火時如控制不當（如裝爐數量過多、爐溫不均勻），致使鍛造應力無法完全被消除，還有熱處理前的切削加工，也會使零件產生加工應力，再加上熱處理時，加熱與冷卻過程中所產生的熱應力與相變態應力等，都是造成熱處理變形的因素，熱處理變形主要種類有三種：(1)外型變形；(2)體積變形(表 2)。

[13~15]

表 2 碳鋼淬-回火組織與體積變化表[16]

組織變化	體積變化(%)
(1)肥粒鐵+雪明碳鐵→麻田散鐵	$1.69 \times (\text{固溶碳量}C\%)$
(2)肥粒鐵+雪明碳鐵→沃斯田鐵	$-4.64 + 2.21 \times (\text{固溶碳量}C\%)$
(3)麻田散鐵→(0.25%C麻田散鐵+ ϵ -碳化物)	$0.22 - 0.88 \times (\text{固溶碳量}C\%)$
(4)沃斯田鐵→麻田散鐵	$4.75 - 0.53 \times (\text{固溶碳量}C\%)$

三、實驗方法與步驟

3.1 材料準備

本實驗材料採用商業用天文大同進口生產的 DC53(SKD11 系列)冷作模具鋼(圖 3、圖 4)，尺寸設計為 500 mm×200 mm×18 mm 三塊 55 mm×55 mm×10 mm 六塊，粗加工時素材利用鋸床鋸切成所需尺寸，從鋼廠出貨時表面有 1~2mm 的碳化層須使用刨床刨除後提供材料給備料廠，備料廠依照模具的圖面進行粗加工(削六研二)六面切削加工、模具上下兩面粗研磨、鑽孔等，精加工預留 0.3~0.4 mm 作細加工用。

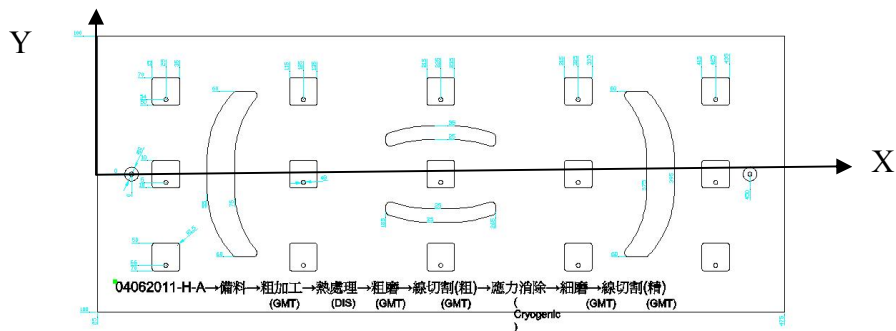


圖 3 DC53 冷作模具鋼尺寸示意圖



圖 4 DC53 冷作模具鋼模板圖

3.2 一般熱處理

粗加工完成之 DC53 冷作模具鋼使用真空爐加熱，加熱(升溫速率)至 1000°C 維持 1~2 小時，淬火至室溫之油浴中，然後回火於 520°C 維持 1~2 小時，空冷至室溫。材料可達到硬度 HRc 60~63。

3.3 深冷處理

DC53 冷作模具鋼完成熱處理後，取其中 500 mm×200 mm×18 mm 一塊，50 mm×50 mm×10 mm 二塊，淬火後 1H 內進行作深冷處理，處理方式為將氮氣徐徐注入爐中讓爐內溫度達到-73°C ~ -120°C(也有強調-150 以下)，約維持 1H ~ 2H(大部分約 40 分)，DC53

材料達到硬度 HRC 60~63。

3.4 超冷處理

DC53 冷作模具鋼完成熱處理後超冷處理程序，取其中 500 mm×200 mm×18 mm 一塊，50 mm×50 mm×10 mm 二塊，每分鐘冷卻 0.33~0.55°F/min 至超冷處理溫度-300°F (-196°C)約 6~小時此時熱由材料內向周圍環境傳遞。維持處理時間 4~6 小時，給與材料良好的變態環境，安定化沃斯田鐵變態麻田散鐵，材料完全滲透並析出過度固溶的細微碳化物顆粒。然後緩慢升溫(0.55 °F/min)至 150C (300 °F) 冷由材料內向周圍環境傳遞，超冷總處理時間約 36H~48H (依材質種類、材料尺寸而異)，可消除殘留應力穩定工件尺寸、顏色完全不發生變化，超冷程序如圖 5。

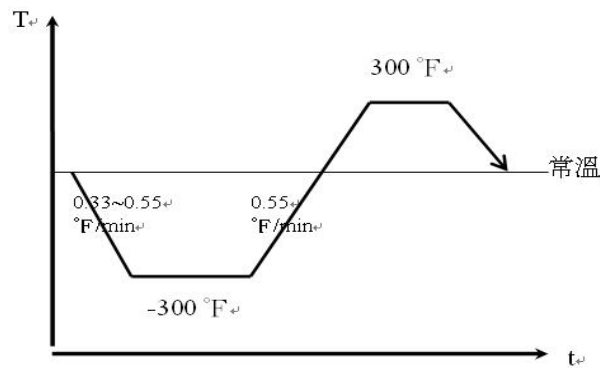


圖 5 超冷處理程序圖

3.5 精加工過程

編號 A 相同之淬火回火標準熱處理定為本次實驗之固定條件後，將編號 A 模板延伸進行深冷處理，將編號 C 模板延伸進行超冷處理，再進行模擬沖壓模具之標準製作程序，平面研磨(粗)，線切割(粗)、平面研磨(細)，線切割(細修)等三塊模板之共同條件，程序如表 4 所示。

表 4 模板熱處理實驗程序表

模板	備料	粗加工	熱處理	深冷	超冷	粗磨	線切割(粗)	應力消除	細磨	線切割(精)
一般熱處理 A	✓	✓	✓			✓	✓	✓	✓	✓
深冷處理 B	✓	✓	✓	✓		✓	✓	✓	✓	✓
超冷處理 C	✓	✓	✓		✓	✓	✓	✓	✓	✓

3.6 尺寸量測

DC53 冷作模具鋼使用三次元量床(Mitutoyo)，於室溫 25 °C，作長寬高，線切割孔位位置尺寸(B1~B15)、線切割孔從 25 mm~425 mm (25, 125, 225, 325, 425)作位置尺寸量測，量測時間分別於 10~180 (10, 20, 30, 45, 60, 90, 180)天共作七次量測。

四、結果與討論

4-1 基礎位置尺寸變化

圖 6(a)(b)顯示不同熱處理下第一次量測各孔 B1-B15 位置尺寸變化之關係，圖中 6(a) 為 X 軸方向、圖中 6(b) 為 Y 軸方向尺寸變化，圖中在熱處理過程中因相變化而產生組織變化導致體積改變，剛熱處理完量測各孔位置尺寸 X 方向收縮-0.024mm、Y 方向呈現 -0.004~-0.008 收縮。其中肥粒鐵與雪明碳鐵之混合組織變為麻田散鐵後之體積變膨脹。肥粒鐵與雪明碳鐵之混合組織完全變為沃斯田鐵時之體積變收縮。一般熱處理淬火所產生之麻田散鐵放置於常溫，或施以 200°C 以下之回火，麻田散鐵分解為低碳麻田散鐵(0.25%C)與 ϵ 碳化物，DC53 會收縮。

施以深冷處理或淬火 520°C 之回火，麻田散鐵分解為低碳麻田散鐵(0.25%C)與 ϵ 碳化物轉變為之體積變膨脹。超冷後殘留沃斯田鐵，變化為變韌鐵之體積變膨脹。從結果可知，DC53 組織精深冷或超冷處理，因一般淬火回火時已變態為，麻田散鐵組織分解為低碳麻田散鐵(0.25%C)與 ϵ 碳化物時，組織體積為收縮。

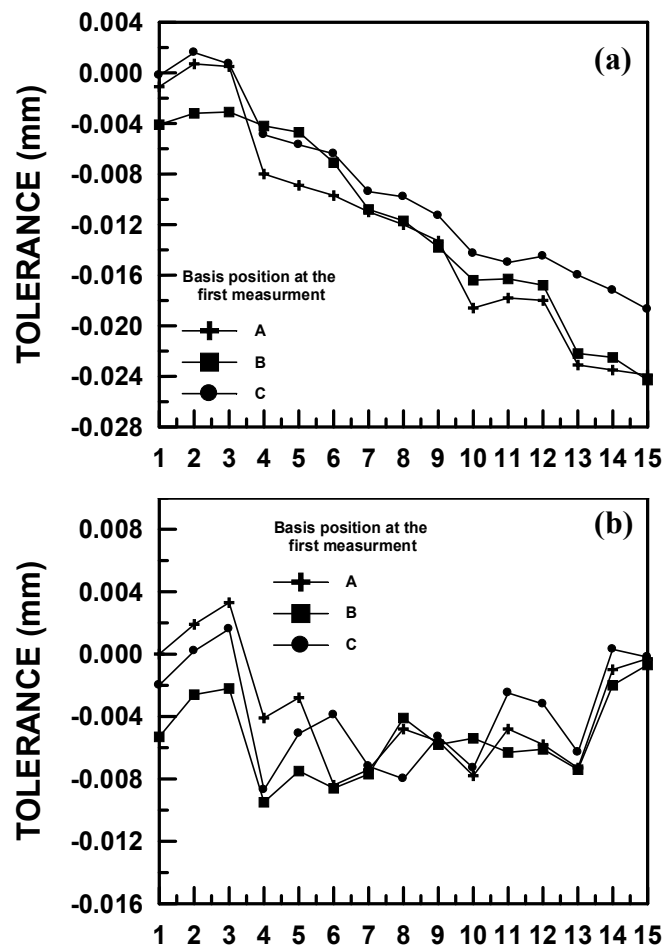


圖 6 不同熱處理下第一次量測各孔位置尺寸變化之關係(a) X 軸 (b) Y 軸 方向

4.2 尺寸隨時間變化

圖7 (a)(b)(c)為DC53經1025°C 淬火後施以高溫回火520°C 之一般熱處理A模塊，在第一排位置B1~B3變形量趨勢一致，在淬火後實施高溫回火，其工件物體積變形呈現隨時間收縮再膨脹的趨勢。

由圖 7 (A)(B)(C)分別可知，在 1025°C 淬火後實施高溫回火後隨時間之尺寸變化，其模板X軸方向尺寸前中後之變形量在模板基準孔附近B1~B3 25 mm之變形量約在0.003~-0.003 mm，進而判斷熱應力與組織應力，哪一種應力影響較大；若模板中間B7~B9之225 mm測量位置之變形量約在-0.008~-0.035 mm，模板425 mm測量位置之變形量-0.008~-0.008 mm，即熱應力影響大於組織應力影響，反之工件物中間測量位置之變形量小於上下或左右測量位置之變形量，即組織應力影響大於熱應力影響。

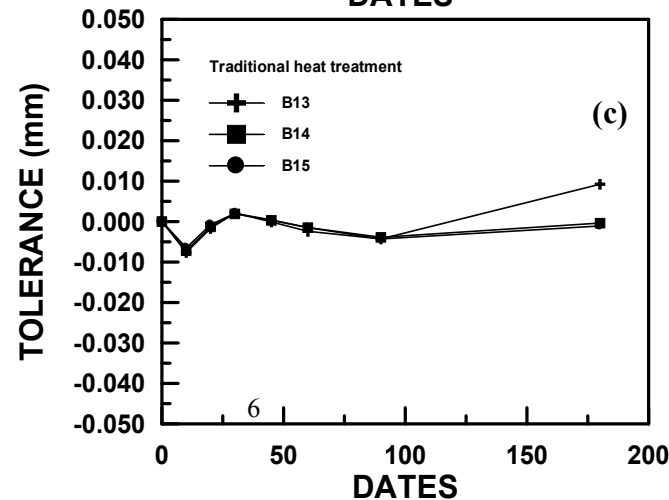
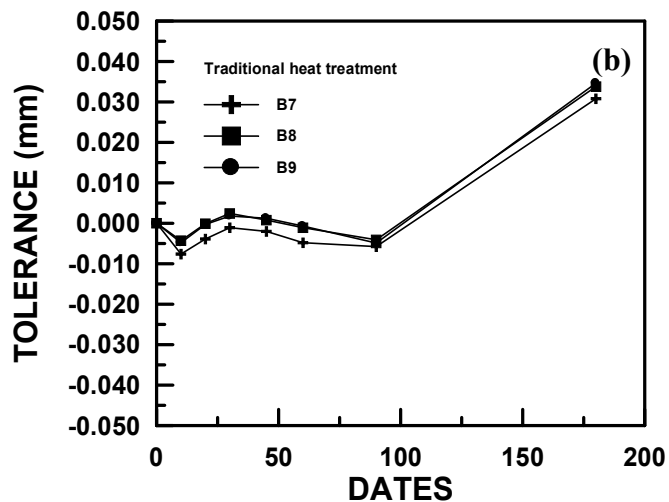
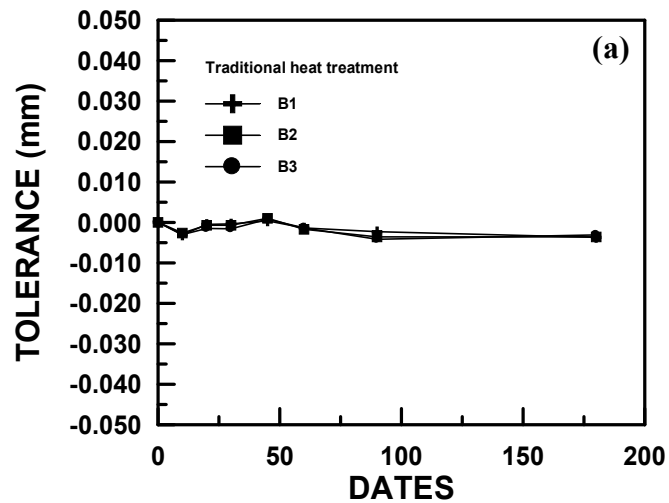
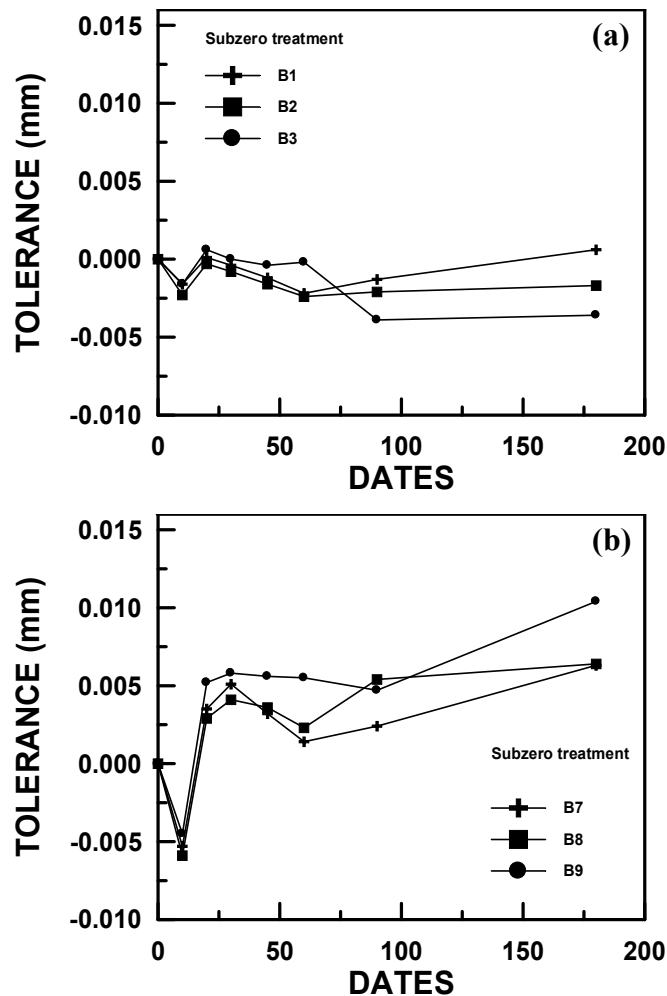


圖 7 DC53 經 1025°C 淬火後施以高溫回火 520°C 之一般熱處理 A 模塊(a) B1~b3;(b) B7~B8;(c) B13~B16 X 軸方向尺寸變化

圖 8 (a)(b)(c)顯示DC53經淬火後施以深冷處理(-73~-120°C)B模塊在(a) B1~B3; (b) B7~B8; (c) B13~B15位置尺寸後隨時間之尺寸變化，由深冷處理時模板之長寬尺寸，隨距離和時間增加尺寸收縮膨脹變化越大，其中模板於 B1~B3位置尺寸變化收縮-0.005 mm; B7~B8位置尺寸變化第30天收縮-0.005 mm，後再膨脹0.005 mm; B13~B15位置尺寸變化第30天收縮-0.010 mm，180天後再膨脹0.015 mm尺寸變化。

在模板試片方面 DC53 之模板長寬高變形為膨脹變形，外形變形主要因熱處理過程中產生內應力所造成之結果，其中內應力又可分為熱應力與組織應力。其中熱應力通常是因熱處理程中加熱不均勻，使工件物表層與心部溫差過大，以及冷卻時工件物內外層冷卻速度不一致所造成工件物表層產生-壓應力與心部產生張應力，若工件物為圓棒熱應力易使圓棒變為鼓狀;而組織應力為工件物在高溫冷卻，由於表層溫度較快接觸到 Ms 點，表層開始從沃斯田鐵(FCC 結構體積較小)變態為麻田散鐵(BCT 結構體積較大)，使工件物表層與心部體積膨脹速率不一致，最後造成工件物表層產生張應力與心部產生壓應力。



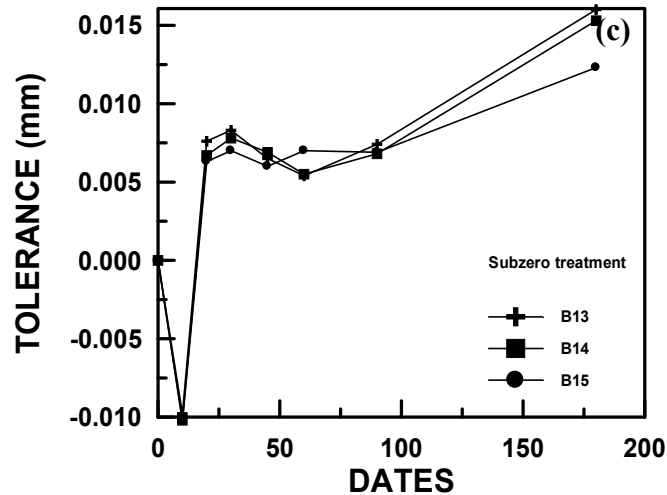


圖 8 DC53 經淬火後施以深冷處理(-73~-120°C)B 模塊(a) B1~B3;(b) B7~B8;(c) B13~B16 X 軸方向尺寸變化

圖 9 (a)(b)(c)顯示 DC53 經 1025°C 淬火回火後施以超冷熱處理 C 模板 B1~B3; B7~B8; B13~B16 在 X 軸方向位置尺寸後隨時間之尺寸變化，由超冷處理時模板之長寬尺寸，隨距離和時間增加尺寸膨脹變化較大，其中模板於 B1~B3 位置尺寸 10 天收縮-0.002 mm 變化，第 180 天漸穩定； B7~B8 位置尺寸變化第 10 天收縮-0.0018 mm，30 後再膨脹 0.001 mm；第 180 天再膨脹 0.003 mm； B13~B15 位置尺寸變化第 10 天收縮，30 後再膨脹 0.003 mm；第 180 天再膨脹 0.005 mm。淬火後施以超冷熱處理模板之硬度 (HRC)、組織變化、金相組織、殘留沃斯鐵量、麻田散鐵轉變溫度(M_s)、以及變形量等均較另兩種處理穩定。

在超冷後熱由環境流向周圍，一段時間後，均勻加熱至室溫並回火 200°C。加熱階段其肥粒鐵與雪明碳鐵混合組織體積會慢慢膨脹，直到加熱溫度到達 A_1 ，變為肥粒鐵與沃斯田鐵混合組織，因沃斯田鐵比容積較小其體積會些許下降。直到加熱溫度達到 A_3 後，其組織幾乎轉變為沃斯田鐵與少量之碳化物殘留，此時迅速冷卻(淬火)，當冷卻溫度到達 M_s 點時，沃斯田鐵開始變態為麻田散鐵，但還是有少部份沃斯田鐵殘留，其沃斯田鐵殘留量與淬火溫度、材料 M_s 點變態溫度有關。若淬火溫度較高時，沃斯田鐵碳固容量會增加，易造成 M_s 點下降，使殘留沃斯田鐵量增加。施以更低溫回火超冷處理其麻田散鐵會分解為低碳麻田散鐵與 ϵ 碳化物，而沃斯田鐵組織，則因低溫有麻田散鐵變態發生，故淬火後施以超冷低溫尺寸變形為膨脹變形。

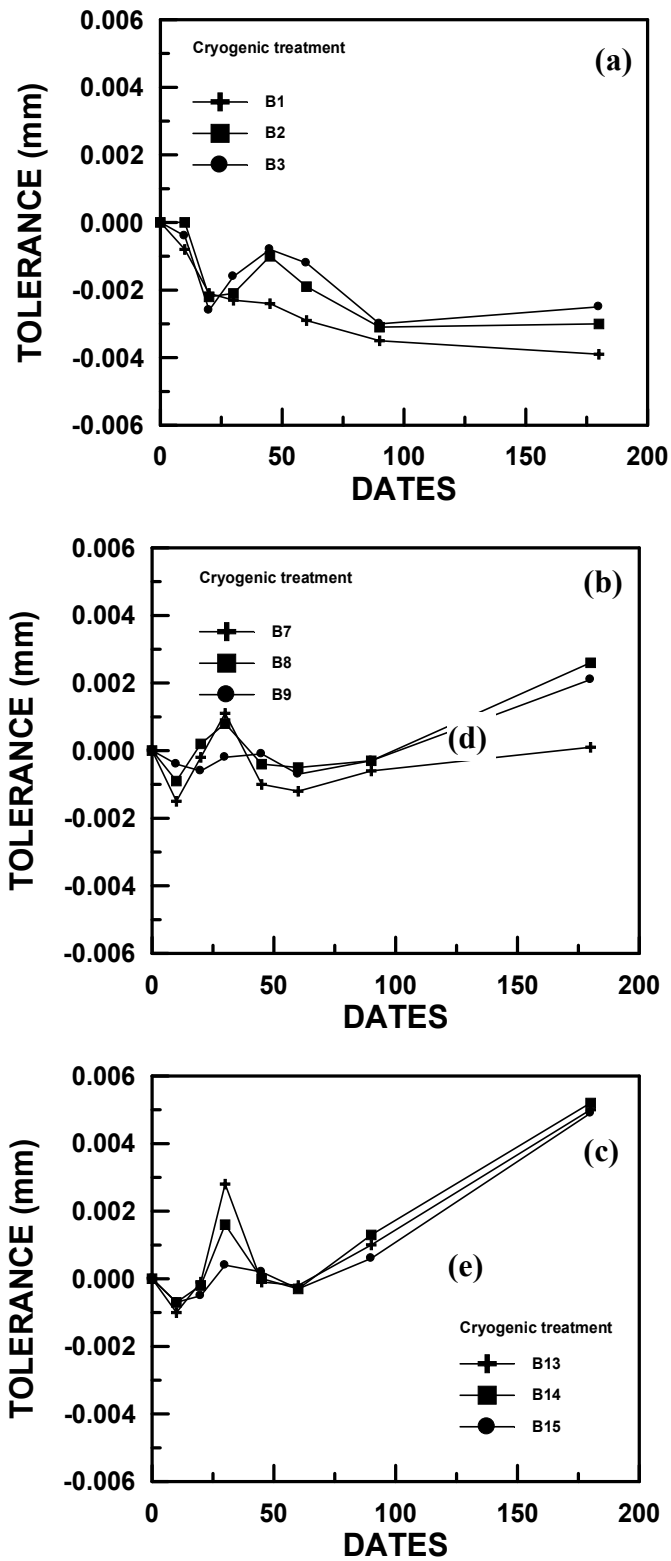


圖 9 DC53 經 1025°C 淬火後施以超冷熱處理 C 模塊(a) B1~b3;(b) B7~B8;(c) B13~B16 X 軸方向尺寸變化

圖 10 顯示(a)(b) DC53 經 1025°C 淬火後施以高溫回火 520°C 之一般熱處理 A 模板(a) B7~B8; (b)B13~B15 在 Y 軸方向尺寸隨時間變化，經由 1025°C 淬火後施以高溫回火 520°C 時模板之長寬尺寸，隨時間增加尺寸膨脹變化較大，其中模板於 B7~B8 位置尺寸變化第 30 後膨脹 0.025 mm; 第 180 天趨穩定膨脹 0.01 mm; B13~B15 位置尺寸變化第

30 後只膨脹 0.0012 mm; 第 180 天再膨脹 0.003 mm。

淬火後實施高溫回火，30 天工件尺寸變形呈現膨脹趨勢。原因為淬火後，施以高溫回火處理，其麻田散鐵中碳會擴散析出速度更快，使麻田散鐵分解為低碳麻田散鐵與 ϵ 碳化物更多；至於殘留沃斯田鐵，則因高溫回火溫度已達到變態溫度，使殘留沃斯田鐵也變態為低碳麻田散鐵與 ϵ 碳化物，但殘留沃斯田鐵不會完全變態還是會有少部分留下。30 天後至 180 天最後低碳麻田散鐵、 ϵ 碳化物、殘留沃斯田鐵整體組織體積總和結果，大於熱處理前之原始體積，故尺寸變形為穩定之小膨脹變形。

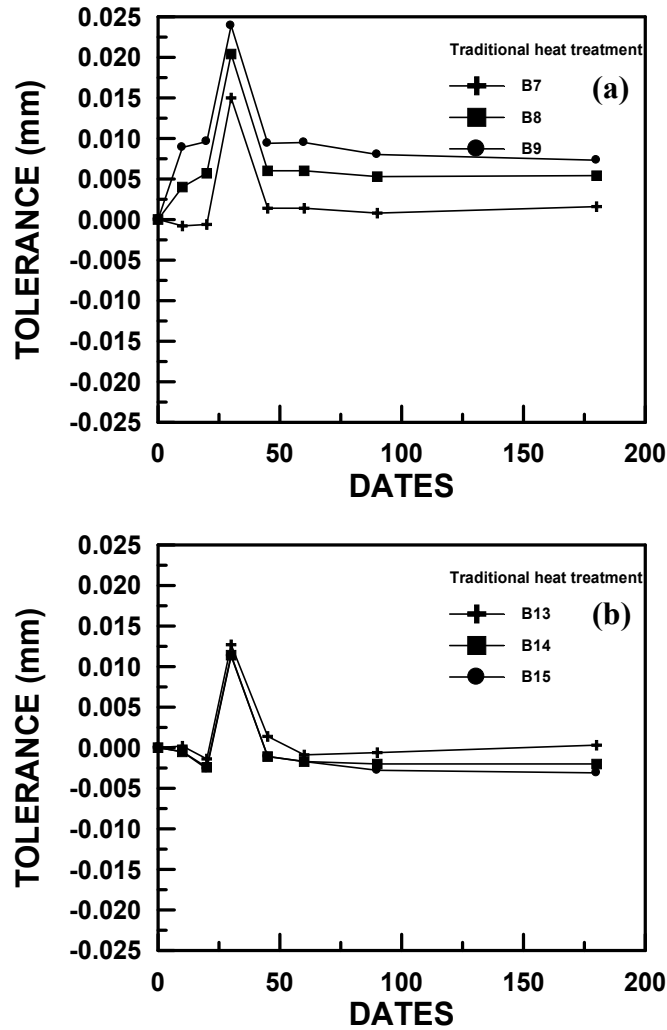


圖 10 DC53 經 1025°C 淬火後施以高溫回火 520°C 之一般熱處理 A 模板(a) B7~B8; (b)B13~B15 在 Y 軸方向尺寸變化

圖 11 (a)(b) DC53 經淬火後施以深冷處理(-73~-120°C) B 模板(a) B7~B8; (b) B13~B15 在 Y 軸方向位置尺寸變化，B 模塊淬火後，實施高溫回火後深冷熱處理，隨時間增加工件尺寸變形呈現模板中間膨脹、尾端收縮趨勢。其中圖 11(a) 模板於 B7~B8 位置尺寸變化第 30 後膨脹最大 0.005 mm; 第 180 天趨穩定膨脹 0.003 mm; 圖 11(b) B13~B15 位置尺寸變化第 60 後膨脹 0.0072 mm; 第 180 天再收縮 -0.013 mm。

綜合評估原因為淬火後，相變態生成麻田散鐵與殘留沃斯田鐵，若施以深冷處理，麻田散鐵中的碳會擴散析出，使麻田散鐵轉變分解為低碳麻田散鐵與 ϵ 碳化物量較多；至於沃斯田鐵組織，則因深冷處理溫度使部分分解為碳化物變態。最後低碳麻田散鐵、

ϵ 碳化物與殘留沃斯田鐵整體組織體積總和結果，小於熱處理前之原始組織體積，故尺寸變形為收縮。

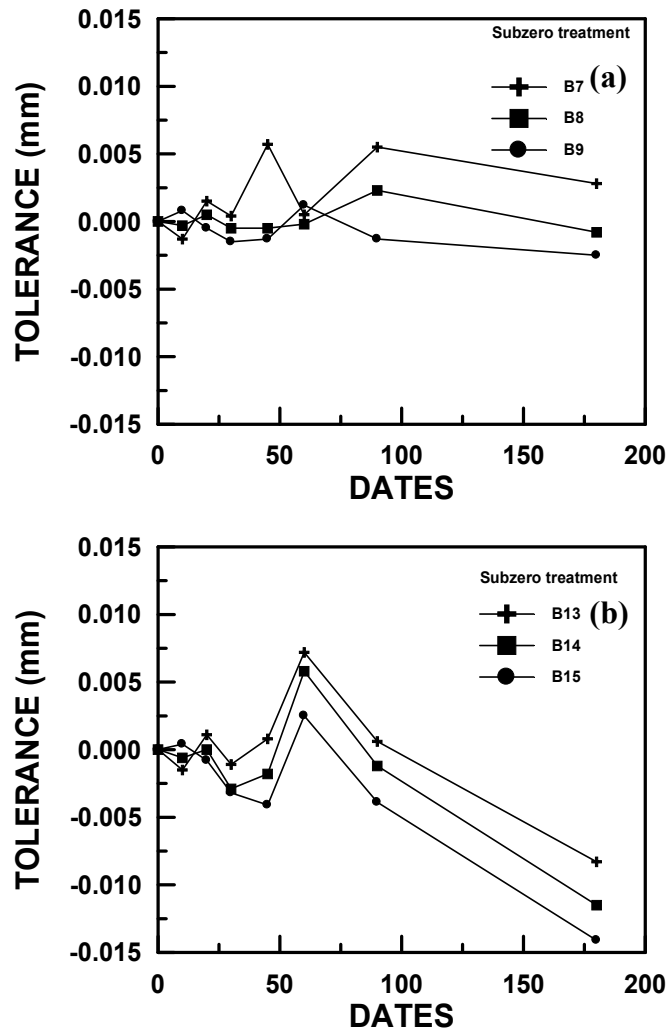


圖 11 DC53 經淬火後施以深冷處理(-73~-120°C)B 模板(a) B7~B8; (b) B13~B15 在 Y 軸方向位置尺寸變化

圖 12 DC53 經 1025°C 淬火後施以超冷熱處理 C 模板(a) B7~B8; (b) B13~B16 在 Y 軸方向尺寸變化，實施高溫回火後超冷熱處理，隨時間增加工件尺寸變形呈現模板中間膨脹、尾端收縮趨勢。其中圖 12(a)模板於 B7~B8 位置尺寸變化第 30 後收縮最大-0.005 mm; 第 180 天趨穩定膨脹 0.005 mm; 圖 12(b)於 B13~B15 位置尺寸變化第 30 後收縮 0.0075 mm; 第 180 天後尺寸趨近於原尺寸，證明超冷處理有穩定材料尺寸效果。

隨超冷溫度時間增加，其工件尺寸變形呈現趨近於原尺寸。主要因超冷時間夠長，基地碳化物固容量增加，隨超冷溫度下降，產生的殘留沃斯田鐵量變態為低碳麻田散鐵與 ϵ 碳化物量增加，加上淬火產生的麻田散鐵則會分解為低碳麻田散鐵與 ϵ 碳化物。因此造成尺寸變形趨勢穩定。

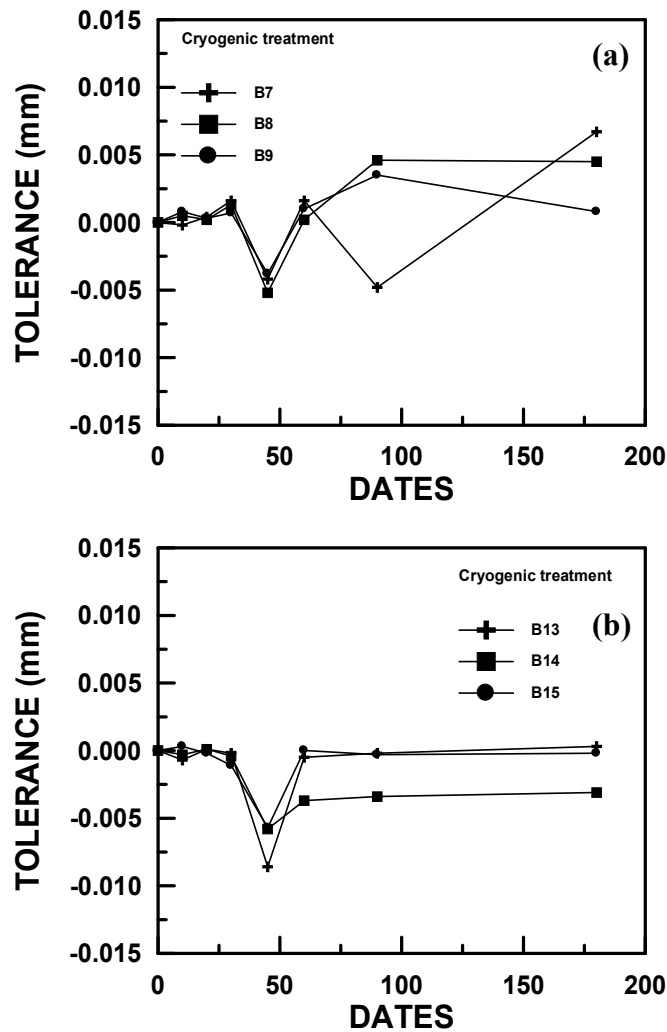


圖 12 DC53 經 1025°C 淬火後施以超冷熱處理 C 模板(a) B7~B8; (b) B13~B16 在 Y 軸方向尺寸變化

4.3 尺寸隨位置變化

圖 13 (a)(b)(c) 不同熱處理下不同時間量測各孔位置尺寸變化之關係(a) 10 天(b) 90 天(c) 180 天在 X 軸方向尺寸變化，從圖 13 (a)(b)(c) 觀察結果，在不同的熱處理條件下，工件物外形變形並沒有一定的規律性，而造成此結果主要原因為熱處理所產生熱應力與組織應力，幾乎同時出現使熱應力與組織應力互相拉扯或抵消，因此在兩種應力交互作用影響下外形變形較沒有一定之規律性。圖 13 (a) 10 天之各種熱處理模板尺寸比較，以超冷處理尺寸最穩定，一般熱處理及深冷處理則呈現收縮趨勢。圖 13 (b) 90 天之各種熱處理模板尺寸比較，以超冷處理尺寸最穩定，一般熱處理成收縮，而深冷處理則呈現膨脹趨勢。圖 13 (c) 180 天之各種熱處理模板尺寸比較，以超冷處理尺寸最穩定，一般熱處理成收縮，而深冷處理則呈現膨脹趨勢。

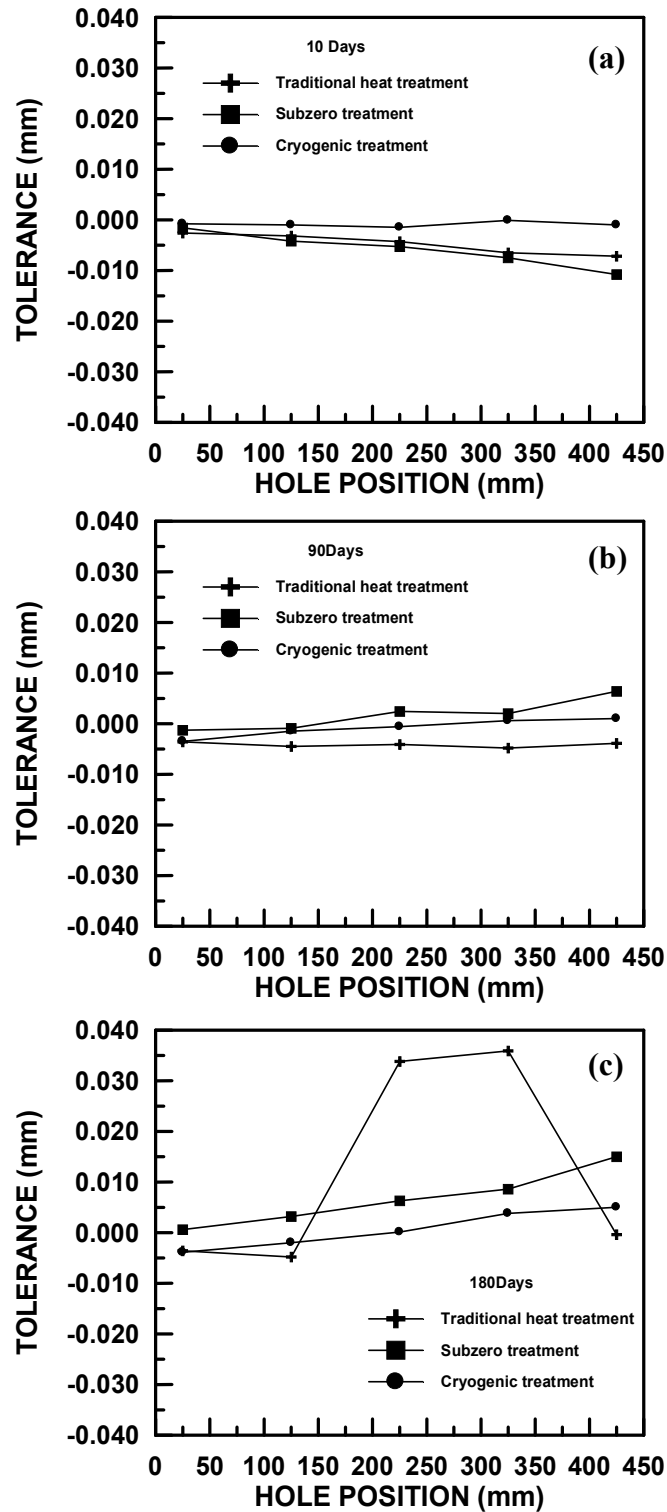


圖 13 不同熱處理下不同時間量測各孔位置尺寸變化之關係(a) 10 天(b) 90 天(c) 180 天 X 軸方向尺寸變化

圖 14 (a)(b)(c) 不同熱處理下不同時間量測各孔位置尺寸變化之關係(a) 10 天(b) 90 天(c) 180 天在 Y 軸方向尺寸變化，從圖 14 (a)(b)(c) 觀察結果，在不同的熱處理條件下，工件物外形變形並沒有一定的規律性，同時出現使熱應力與組織應力互相拉扯或抵消，因

此在兩種應力交互作用影響下外形變形較沒有一定之規律性。圖 14 (a) 10 天之各種熱處理模板尺寸比較，以超冷處理尺寸最穩定，一般熱處理及深冷處理則無一定收縮貨膨脹趨勢。圖 14 (b) 90 天之各種熱處理模板尺寸比較，以超冷處理、一般熱處理、深冷處理則無呈現膨收縮脹趨勢。圖 14 (c) 180 天之各種熱處理模板尺寸比較，以超冷處理尺寸最穩定，一般熱處理呈膨脹，而深冷處理則呈現收縮趨勢。

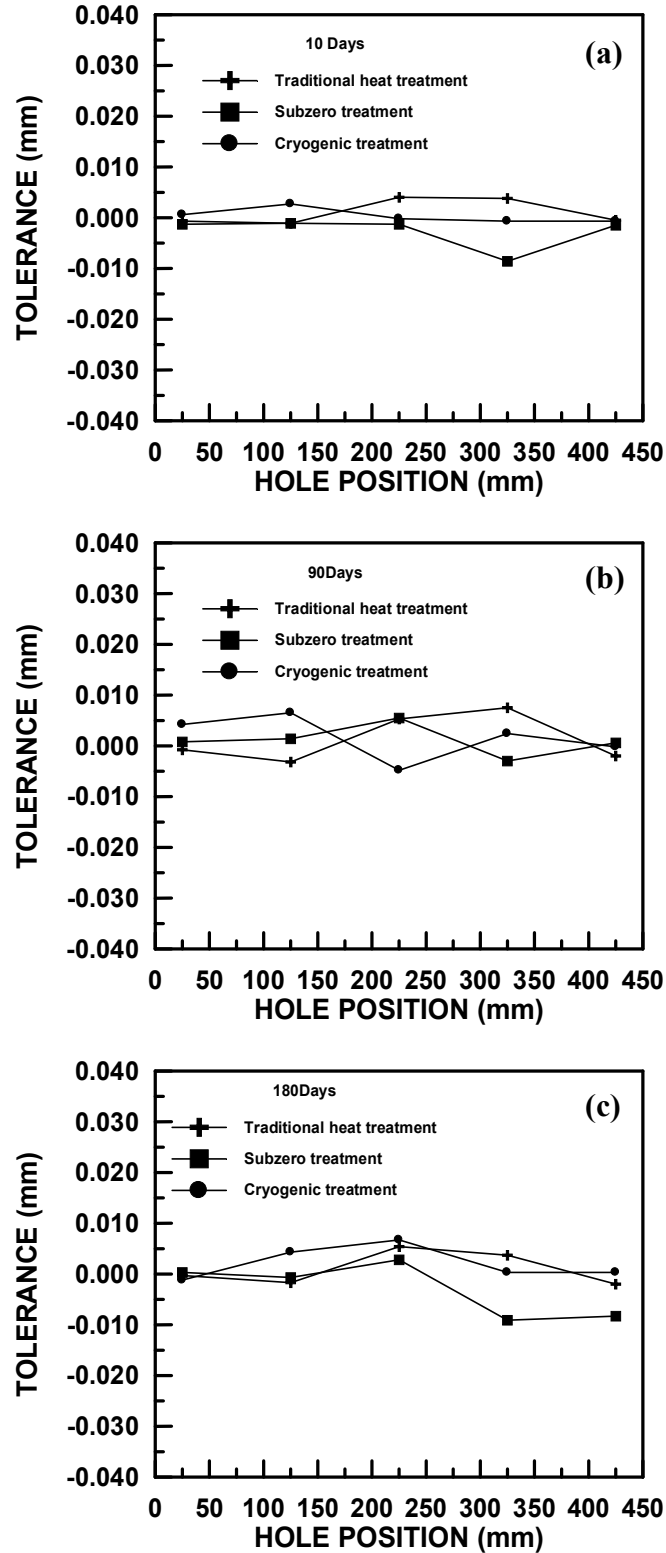


圖 14 不同熱處理下不同時間量測各孔位置尺寸變化之關係(a) 10 天(b) 90 天(c) 180 天在 Y 軸方向尺寸變化

五、結論

1. 淬火後實施高溫回火，工件物尺寸變形呈現收縮在膨脹變形的趨勢，且模板前中後收縮變形變化量愈大，DC53模板 變形量為--0.008~-0.035。
2. 淬火後實施深冷處理，工件物尺寸變形為先收縮再膨脹變形，但深冷溫度對膨脹變形量並沒有太大的差異，DC53 模板變形量為-0.005~-0.015。
3. 淬火後實施超冷處理熱處理後，工件尺寸膨脹或收縮，主要是因為熱處理過程中，殘留沃斯田鐵組織變態所造成，因此超冷處理控制殘留沃斯田鐵量，使模板變形不因時間產生太大變化，對穩定模板尺寸有很大幫助，而DC53 模板變形量為0.005 mm以內。

參考文獻

- [1] 寇立人，2001，鋼材之性能與利用，復漢出版社。
- [2] 賴耿陽，1987，機械材料選用技術，復漢出版社。
- [3] 邱松茂，1999，模具處理手冊，經濟部技術處金屬工業研究發展中心出版。
- [4] D. Mohan Lai, S. Renganarayanan, A. Kalanidhi, “Cryogenic treatment to augment wear resistance of tool and die steels” ,cryogenics 41 2001 pp.149-155
- [5] 熊仁洲，劉復龍，“超冷處理(Cryogenic Treatment)之簡介”，金屬熱處理期刊，第35期，1992，p.62 - 65
- [6] 華子傑，“超深冷設備改良及其在電鍍工件脫氫上之應用”，台灣大學，碩士論文，2008。
- [7] 王鉅鈞，2006，「超深冷處理對AISI D2 工具鋼耐磨耗性之研究」，碩士論文，大同大學，台北
- [8] 孫佳宏，2006，「AISI D2 工具鋼經超深冷處理後其顯微組織以及機械性質之影響」，碩士論文，大同大學，台北
- [9] 楊銘文，2006，「碳工具鋼超深冷處理後耐磨性之研究」，碩士論文，國立台灣大學，台北
- [10] F. J. da Silva, S. D. Franco, Á. R. Machado, E. O. Ezugwu, A. M. Souza Jr., “Performance of cryogenically treated HSS tools” ,Wear 261, 2006, pp.647-685
- [11] A. Y. L. Yong, K. H. W. Seah, M. Rahman, “Performance evaluation of cryogenically treated tungsten carbide tools in turning” ,Machine Tools & Manufacture 46,2006, pp.2051-2056
- [12] A. Bensely, D. Senthikumar, D. Mohan Lal, G. Nagarajan, A. Rajadurai, “Effect of cryogenic treatment on tensile behavior of case carburized steel-815M17” , Materials Characterization 58, 2007, pp.485-491
- [13] 黃振賢，1988，金屬熱處理，文京圖書。
- [14] 余煥騰，1987，金屬熱處理學，六和出版社。
- [15] 朱培瑜，1993，常見零件熱處理變形與控制，機械工業出版社，北京。
- [16] 黃紹雄，熱處理畸變，金屬熱處理，第11期。
- [17] 李秉育，SKD11 與 DC53 熱處理變形之研究國立高雄第一科技大學機械與自動化工程系 碩士論文，指導教授：楊玉森，中華民國九十八年七月。