

回火參數對 10B33 扭力控制型斷尾螺栓扭力值影響之研究

*許鈞翔¹ 林東毅¹

¹ 國立高雄大學化學與工程學系

扭力控制型斷尾螺栓為鋼結構建築中常見的扣件，扭力值為判斷扣件是否鎖緊之依據，擁有穩定的扭力值可防止鎖緊過度或不足之情形產生。為了瞭解扭力控制型斷尾螺栓其金相組織與扭力值之相互關係，本研究使用 ASTM A325 Type1 材質為 10B33 鋼製扭力控制型斷尾螺栓進行一系列的回火處理，並對扭斷面之型態詳加探討並進行量化的分析。

金相結果顯示隨著回火溫度的提高，肥粒鐵相會明顯的增加，基地相的碳含量則有明顯的下降趨勢，此為導致扭力值與硬度值顯著降低的因素。扭斷面的破壞型態由中心到外部可區分為三種類型，中心部分的韌窩狀組織屬於延性破壞型態，接近螺栓表面的劈裂狀組織屬於脆性破壞型態，介於兩者之間為具有方向性組織的混合區。量化結果顯示隨著回火溫度的上升，韌窩狀組織的面積比會隨之增大，反之劈裂狀組織的面積比則隨之減少。此外，回火溫度較低時其韌窩狀組織的窩穴尺寸較大，隨著回火溫度的上升其窩穴尺寸會變得較小且分布也較為均勻。由破壞面的種種現象顯示回火溫度的上升對材料的延韌性會有提升的效果。

關鍵字： 扭力、回火、回火麻田散鐵、碳素硼鋼

1、前言

自西元前 250 年阿基米德發現了螺紋螺旋的原理起，螺絲被人類使用已有幾千年的歷史，人類對螺絲的需求幾乎無所不在，在現今的工業社會乃至於未來的資訊產業，螺絲的地位更是舉足輕重。舉凡螺絲、螺帽、螺栓…等螺紋的相關製品統稱為扣件，扣件同常是成品中的一環，常被忽視其重要性，但往往一根小扣件就足以導致一場大災難的發生。

在現今高度發展的社會裡，大樓林立，建築物一棟比一棟高，而扭力控制型斷尾螺栓是鋼結構行業中最常見也最重要的使用扣件，目前，國際、國內各領域對此螺栓的機械性值和扭力值，都提出了越來越高的要求[1]，因為往往在建築物中，此螺栓會受到各種軸向的拉伸載荷、或彎曲載荷、剪切載荷，或是人為操作不當時，施以過大或過小的扭力安裝，這些都會導致螺栓斷裂、組件鬆脫等的情形產生。

有鑑於此，扭力控制型斷尾螺栓應該要有更穩定的扭力值，除了探討對扭力影響甚鉅的表面摩擦係數、接合介面連接摩擦差力[2]以外，應該回歸材料本身如何增加熱處理後的穩定度、如何能得到均勻的顯微組織，因此本研究以 10B33 扭力控制型斷尾螺栓作為實驗材料，對材料施以淬火、回火熱處理，並詳細探討(1)不同回火溫度(467°C、487°C、507°C)、不同回火時間(85 分鐘、95 分鐘、105 分鐘)對扭力值之影響，(2) 不同回火溫度(467°C、487°C、507°C)、不同回火時間(85 分鐘、95 分鐘、105 分鐘)對顯微組織之影響，(3)扭力值與顯微組織、硬度值、延韌性之關係。

2、實驗方法

本實驗採用 ASTM F1852 A325 TYPE1[3]的扭力控制型斷尾螺栓，螺栓的線徑為 1.96cm，螺栓的長度為 10cm，螺栓外觀如圖 1 所示。而螺栓的基材則是由中鋼公司所提供 10B33 的線材，成分組成表如表 1 所示。



圖 1 扭力控制型斷尾螺栓外觀

表 1 10B33 碳素硼鋼之合金成分表

	C	Si	Mn	P	S	B	Al
wt%	0.35	0.21	0.84	0.006	0.002	0.0018	0.0022

本實驗流程圖如圖 2 所示，可分為三大部分。第一部分先將已經經過加熱至 870°C 持溫 85 分鐘並油淬的螺栓做不同參數的回火，回火參數分別是回火溫度 467°C、487°C、507°C 與回火持溫時間 85 分鐘、95 分鐘、105 分鐘，總共有九組回火參數，每組回火參數我都放置了五隻螺栓。第二部分則是將第一部分做過不同回火處理的螺栓分別拿去做扭力、硬度的機械性質分析。第三部分是將回火之

後的螺栓以砂輪切割機進行裁切，接著進行金相製備，以水砂紙與氧化鋁粉(Al₂O₃)分別施以粗研磨、細研磨及拋光等步驟，並以 3%Nital 進行蝕刻做顯微組織(om、sem)的觀察，也將做過扭力試驗的螺栓做其扭斷面之分析(立體顯微鏡)與扭斷面韌脆面積比的定量。藉由這三部分的分析與研究可以建立起不同回火參數與回火顯微組織、機械性質(扭力、硬度、延韌性)之間的關係。

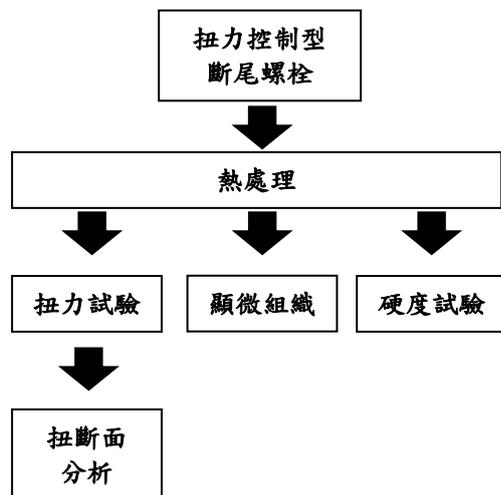


圖 2 實驗流程圖

3、結果與討論

3.1 回火對扭力值之影響

本章節是經過以不同回火溫度與不同回火持溫時間的螺栓進行扭力試驗。10B33 扭力控制型斷尾螺栓經不同回火熱處理之後，其扭力值如表 2 所示;由此表 2 的數據中可以觀察到 10B33 扭力控制型斷尾螺栓經不同回火熱處理之後，最大平均扭力值為 436Nm，其回火條件為回火溫度 467°C，回火持溫時間 85 分鐘;最小平均扭力值為 404Nm，其回火溫度為 507°C，回火持溫時間為 105 分鐘。此外標準差可以視為判斷此機械性質是否穩定的依據，標準差越小扭力值越穩定，由表 2 可以觀察到，不管在回火溫度 467°C、487°C 或 507°C 時，其標準差最小值都出現在回火時間 105 分鐘，因此由前述可說明在不同回火溫度下回火時間越長其扭力值越為穩定。由表 2 可觀察到 10B33 扭力控制型斷尾螺栓經不同回火熱處理之後，在回火溫度 467°C，回火時間 105 分鐘時，扭力值最為穩定。

10B33 扭力控制型斷尾螺栓經不同回火熱處理之後，為了方便比較其扭力值與回火參數的關係，將表 2 繪製成圖 3，可以發現到當回火溫度與回火時間增加時都會使螺栓扭力值下降，但當回火時間固定時因回火溫度的不同螺栓扭力值的差距為 6.6~15.8(Nm)，回火溫度固定時因回火時間的不同螺栓扭力值差距為 1~6(Nm)，因此可以發現溫度對扭力值的影響較為顯著。

表 2 回火後螺栓之扭力值

回火溫度(°C)	持溫時間(分鐘)	試片 1	試片 2	試片 3	試片 4	試片 5	平均值	標準差
467	85	434	429	437	428	452	436	9.67
	95	429	423	440	423	435	430	7.48
	105	426	426	428	430	434	428.8	2.99
487	85	413	435	422	421	421	422.4	7.1
	95	421	419	441	416	424	423.4	7.28
	105	413	404	419	416	413	413	5.02
507	85	403	429	408	403	406	410	10.94
	95	405	400	405	416	413	407.8	4.66
	105	411	402	405	402	402	404	3.91

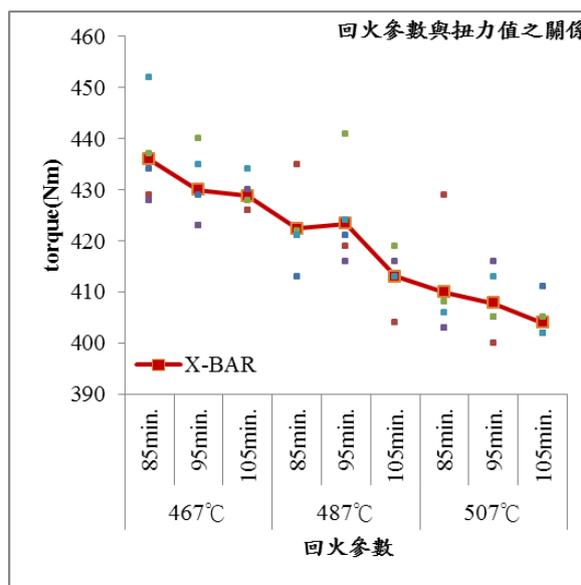


圖 3 回火參數與扭力值之關係

3.2 回火對硬度值之影響

本章節是經過以不同回火溫度與不同回火持溫時間的螺栓進行硬度試驗，量測中心位置。10B33 扭力控制型斷尾螺栓經不同回火熱處理之後，其硬度值如表 3 所示;由此表 3 的數據中可以觀察到 10B33 扭力控制型斷尾螺栓經不同回火熱處理之後，最大平均硬度值為 33HRC，其回火條件為回火溫度 467°C，回火持溫時間 85 分鐘;最小平均硬度值為 27.9HRC，其回火溫度為 507°C，回火持溫時間為 105 分鐘。就標準差來觀察，可以發現表 3 中雖然全部回火參數的硬度值標準差皆在 1 以下，但還是可以觀察到不管在回火溫度 467°C、487°C 或 507°C 時，其標準差最小值都出現在回火時間 105

分鐘，因此由前述可說明在不同回火溫度下回火時間越長其硬度值越為穩定。由表 3 可觀察到 SAE 10B33 扭力控制型斷尾螺栓經不同回火熱處理之後，在回火溫度 507°C，回火時間 105 分鐘時，硬度值最為穩定。

10B33 扭力控制型斷尾螺栓經不同回火熱處理之後，為了方便比較其硬度值與回火參數的關係，將表 3 繪製成圖 4，可以發現到當回火溫度與回火時間增加時都會使螺栓硬度值下降，但當回火時間固定時因回火溫度的不同螺栓硬度值的差距為 1.5~2.3(HRC)，回火溫度固定時因回火時間的不同螺栓硬度值差距為 0.5~1(HRC)，因此可以發現溫度對硬度值的影響較為顯著。

表 3 回火後螺栓之硬度值

回火溫度 (°C)	持溫時間 (分鐘)	試片 1	試片 2	試片 3	試片 4	試片 5	平均值	標準差
467	85	32.7	33	32.8	33.4	33.1	33	0.24
	95	32	32	32.3	32.2	32.3	32.16	0.14
	105	31.5	31.7	31.7	31.8	31.6	31.66	0.10
487	85	31.2	31.1	31.2	30.9	31	31.08	0.12
	95	30.8	30.7	30.8	31	30.7	30.8	0.11
	105	30.1	30	30	30.2	30	30.06	0.08
507	85	29.7	29.5	29.3	29.7	29.6	29.56	0.15
	95	28.8	28.6	28.3	28.8	28.5	28.6	0.19
	105	27.9	28	28.1	27.9	28	27.98	0.07

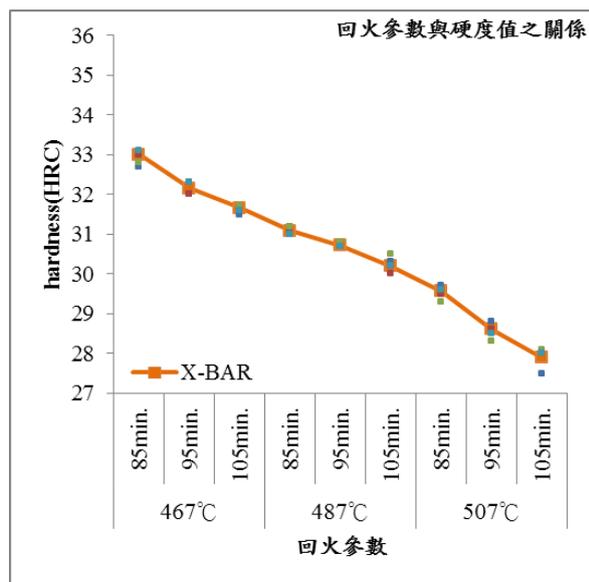


圖 4 回火參數與硬度值之關係

3.3 回火對顯微組織之影響

圖 5 為回火四階段相變化圖，由圖 5 可知本研究所使用的回火溫度落在第三階段有肥粒鐵基地

相與雪明碳鐵，圖 6 為螺栓中心經過回火後之顯微組織，全為回火麻田散鐵但因回火溫度與持溫時間的不同，以至於固溶在基地相的碳化物析出的程度和麻田散鐵崩解的程度也不盡相同，因此不同回火參數的回火麻田散鐵形貌也有顯著的不同。然而由上述機械性質時可以發現溫度的影響較為明顯，就顯微組織上來觀察也有此趨勢的展現，同一回火溫度下不同持溫時間之顯微組織並無明顯的差異，但在同一持溫時間不同回火溫度之顯微組織則有顯著的不同，因此本節將對回火溫度不同與顯微組織差異進行分析。

由顯微組織可以發現當回火溫度越高時其回火麻田散鐵針狀組織(黑色)隨著回火溫度增加變得越細越短，而肥粒鐵基地相(白色)隨著回火溫度增加變得越多。除此之外也可以發現，隨著回火溫度增加，其肥粒鐵基地相不只變的更多也變得更為純淨，這應為固溶在基地相裡的碳隨著回火溫度的增加也析出了越多的緣故。再與前述的機械性質相互討論，隨著回火溫度越高扭力值與硬度值逐漸降低，是因為回火溫度越高，肥粒鐵(軟)的相分率也成正比成長的緣故。

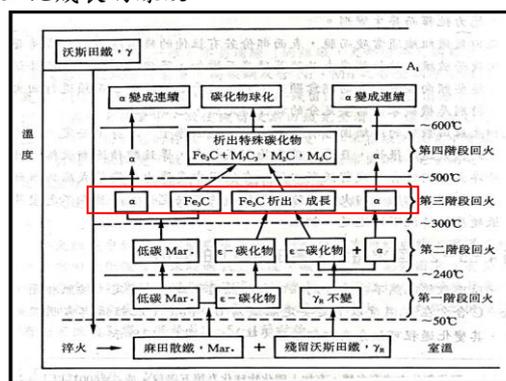


圖 5 回火四階段相變化[4]

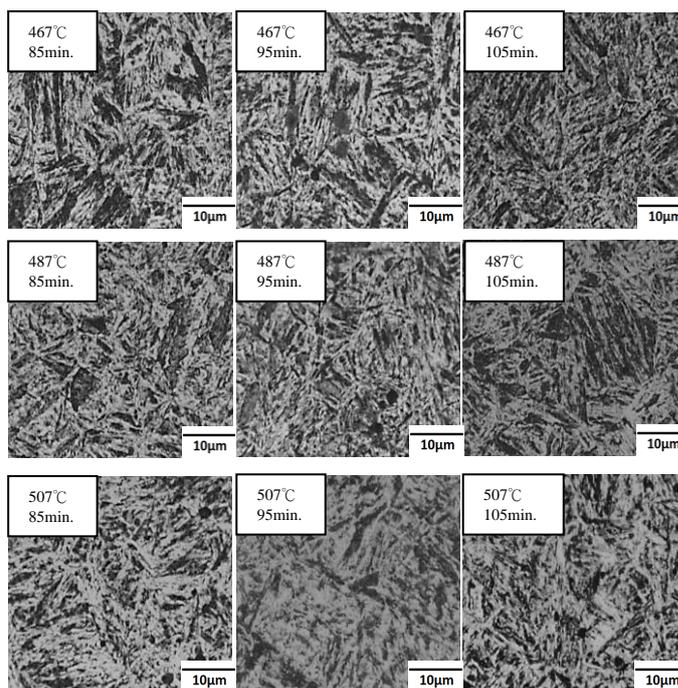


圖 6 回火後螺栓中心之顯微組織

3.4 淬火、回火後基相碳含量之量測

本章節是經過淬火、回火處理過後的螺栓，對其基相進行 EDS 與 Mapping 半定量的相成分分析。麻田散鐵是由沃斯田鐵快速冷卻至室溫時所形成的硬脆組織，是碳的過飽和肥粒鐵固溶體，其原本固溶在沃斯田鐵內的碳，會殘留在後續形成的新相中。而麻田散鐵回火過後，過飽和的碳會開始從麻田散鐵的基相中析出[5]，並形成碳化物，而基相就變為原本的肥粒鐵 α 基相。圖 6 顯示淬火後基相所含之碳含量，而圖 7 是持溫 85 分鐘後不同回火溫度之基相碳含量，由此可以發現原本固溶在基相的碳會隨著回火溫度的增加而減少，也就是肥粒鐵基相會隨著回火溫度的增加而變多。圖 8 顯示的是淬火與經過持溫 85 分鐘與不同回火溫度回火後的 Mapping 結果，由結果可發現淬火後碳分布(紅色區域)的較為廣闊，而隨著回火溫度的增加肥粒鐵基相(黑色區域)也有顯著的增加，這也與前述 EDS 實驗結果相符。

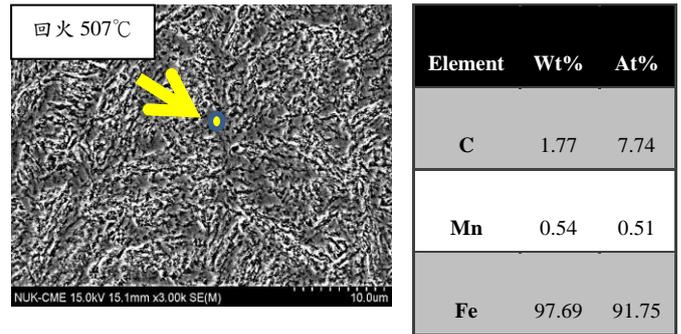


圖 7 回火後基相之 EDS 量測

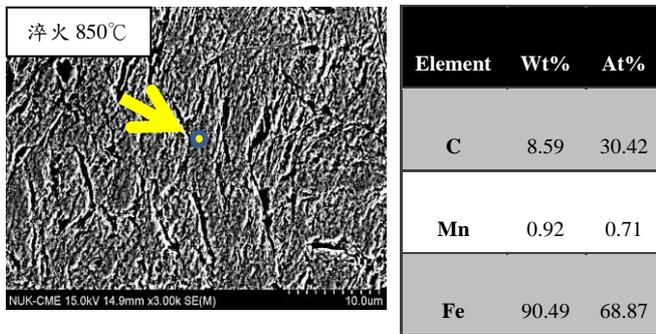


圖 6 淬火後基相之 EDS 量測

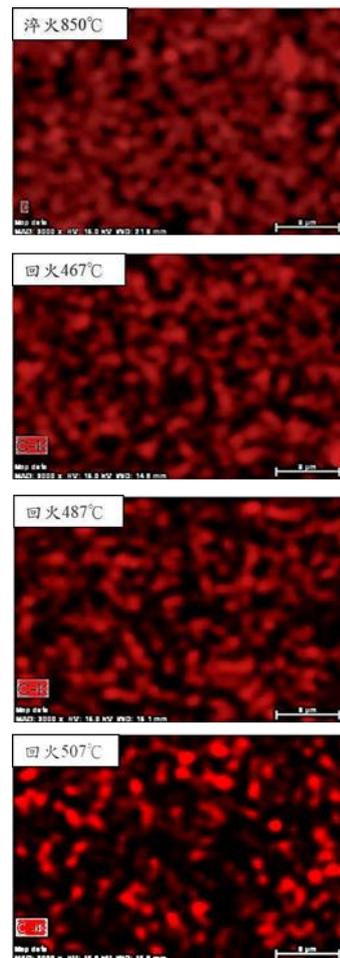
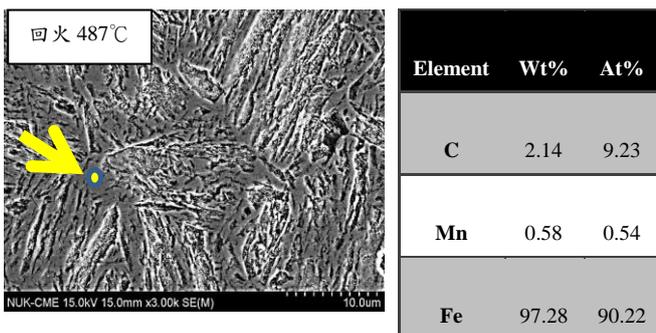
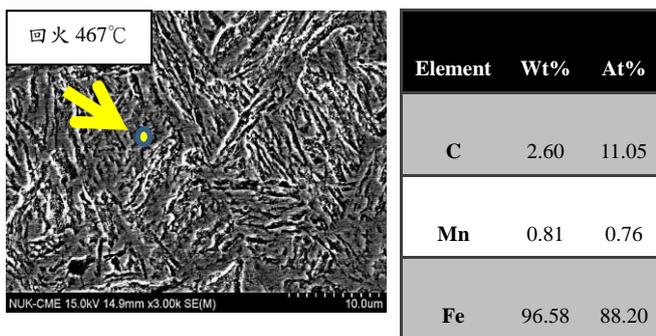


圖 8 淬火、回火後基相 Mapping 之量測



3.4 回火對扭斷面之影響

本章節是經過以不同回火參數回火過後的螺栓進行扭力試驗，並對其扭斷面以巨觀與立體顯微鏡做形貌上的觀察。由圖 9 可觀察到從肉眼上來看可以大致上觀察出螺栓做過扭力試驗時扭斷面呈現兩種形貌，扭斷面中央類似蜂窩的區域與扭斷面四周類似玫瑰花瓣的區域，而隨著回火參數的不同其蜂窩與花瓣區域的比例也相對不同。圖 10 則為扭斷面以立體顯微鏡放大 7 倍時的形貌，此時除了在肉眼上觀察到的兩種形貌外，還多了中間有方相性的破壞形貌，因此扭斷面形貌可

定義出三個區域，中央(蜂窩狀)、周圍(花瓣)、混合區(有方向性)，示意圖如圖 11 所示。此外，以立體顯微鏡已可以明顯觀察出，隨著回火溫度越高中央(蜂窩狀)的面積逐漸變大，反之隨著回火溫度的增加周圍(花瓣)的面積則逐漸的變少。使用電子顯微鏡放大 200x、1000x、3000x、5000x 後，如圖 12 所示，中間區域為韌窩狀的韌性組織，周圍為劈裂狀的脆性組織[6]，則混合區是介於這兩種之間的組織。

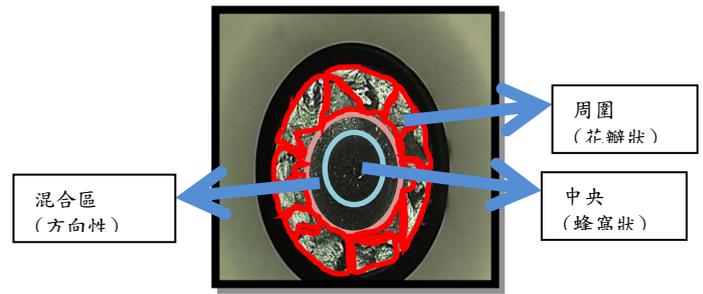


圖 11 回火後之扭斷面形貌示意圖

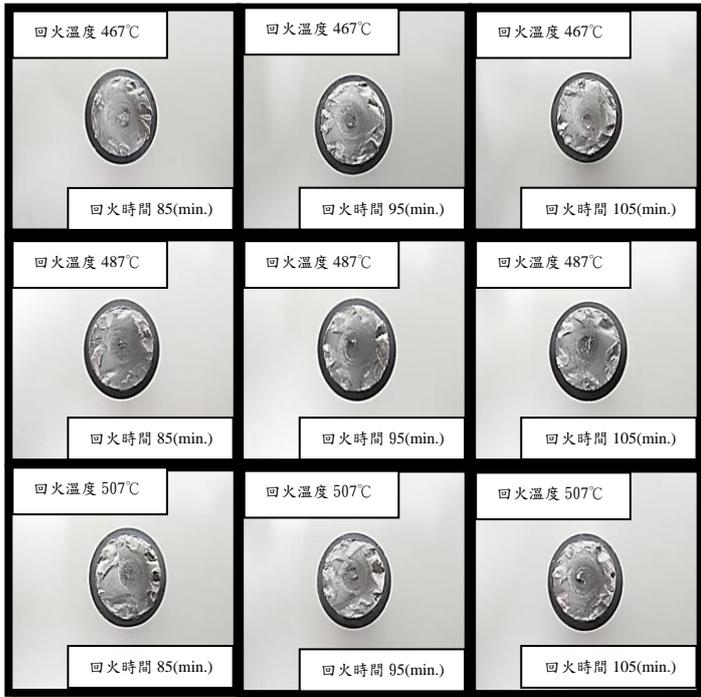


圖 9 回火參數對扭斷面之影響(巨觀)

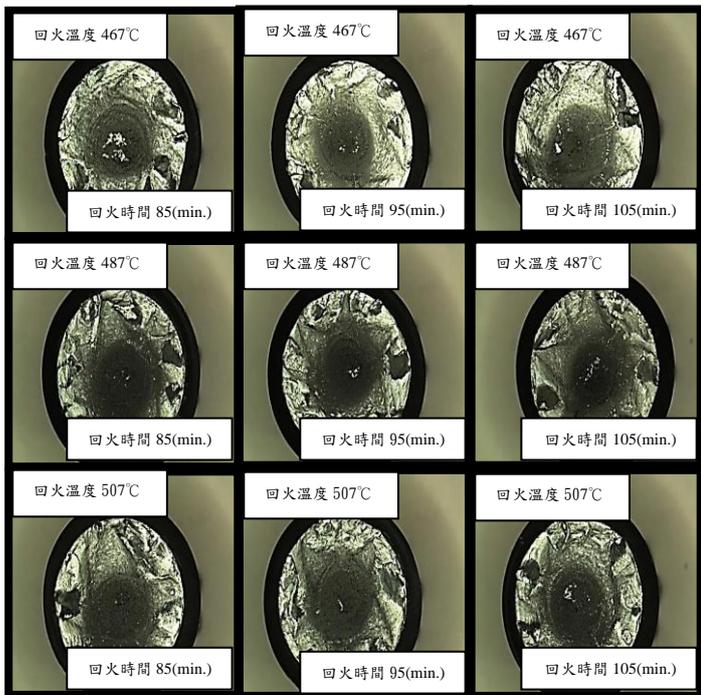


圖 10 回火參數對扭斷面之影響(立體顯微鏡)

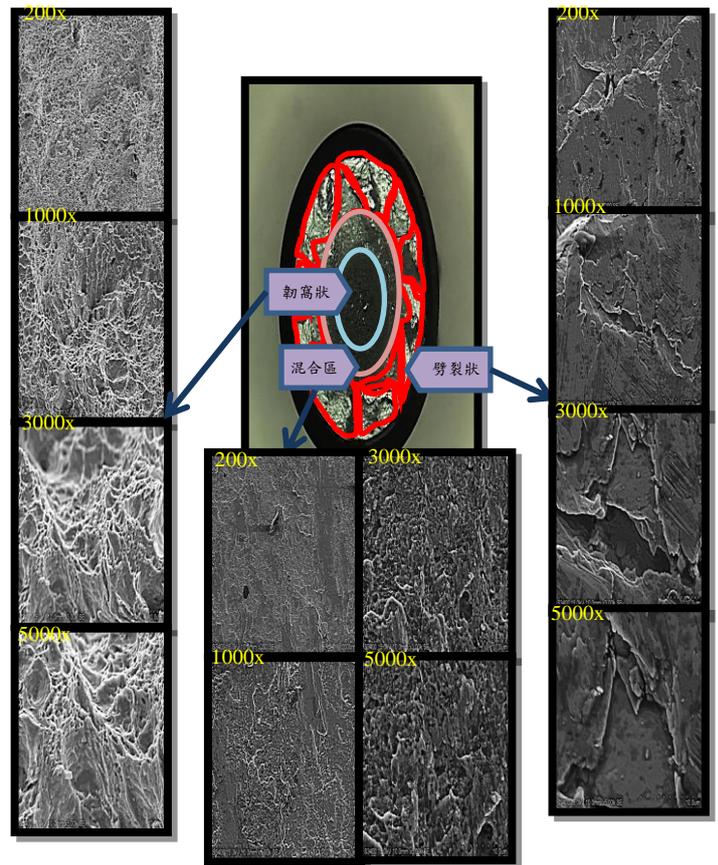


圖 12 扭斷面之微觀(SEM)

圖 13 顯示的是回火溫度 467°C、487°C、507°C 之韌窩狀組織的差異，可以看到的是 467°C 韌窩狀組織的窩穴大小為最大，507°C 的窩穴為大小為最小且較為均勻。圖 14 顯示的是回火溫度 467°C、487°C、507°C 之混合區組織的差異，與韌窩狀組織相同，467°C 混合區組織的晶格大小為最大，507°C 的晶格大小為最小。從延性的破壞機制我們可以知道，窩穴越小此材料的延韌性較佳，窩穴較大則材料之延韌性較差，因此回火 507°C 的材料延韌性比回火 467°C 的材料延韌性好。

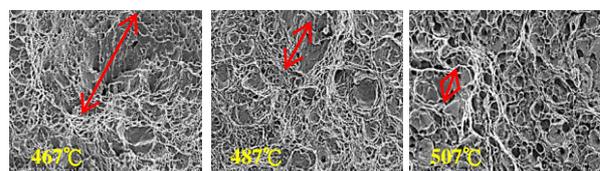


圖 13 回火溫度對扭斷面韌窩狀之影響

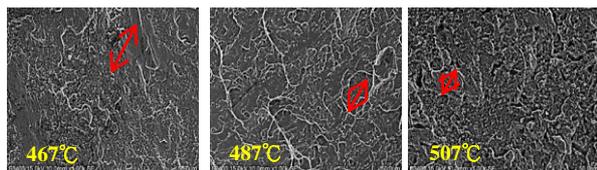


圖 14 回火溫度對扭斷面混合區之影響

3.5 回火對韌性面積比之影響

本章節是經過以不同回火參數回火過後的螺栓進行扭力試驗，對其扭斷面上韌性破壞區面積與脆性破壞區面積做詳細定量，並分析其機械性質。圖 15 顯示為我用碳膠帶去標記扭斷面表面，並使用電子顯微鏡沿著碳膠帶由扭斷面上拍攝到下，並從低倍(200x)觀察到高倍(5000x)以方便釐清扭斷面在立體顯微鏡下的韌性破壞區之邊界，並以影像處理軟體量測韌性破壞區面積與整個扭斷面面積做比值，藉此可以瞭解不回火參數其延韌性之差異。圖 16 為定量之結果，由圖 16 可發現當回火溫度或回火時間增加時，其韌性面積比會呈正比的增加，也就是隨著回火溫度越高或回火時間增加材料其延韌性也會變個更好。此乃回火溫度越高或回火時間增加時，材料當中肥粒鐵增加之緣故。此外由圖 16 也發現，與上述機械性質相同，回火溫度對延韌性的影響較回火時間更為顯著。

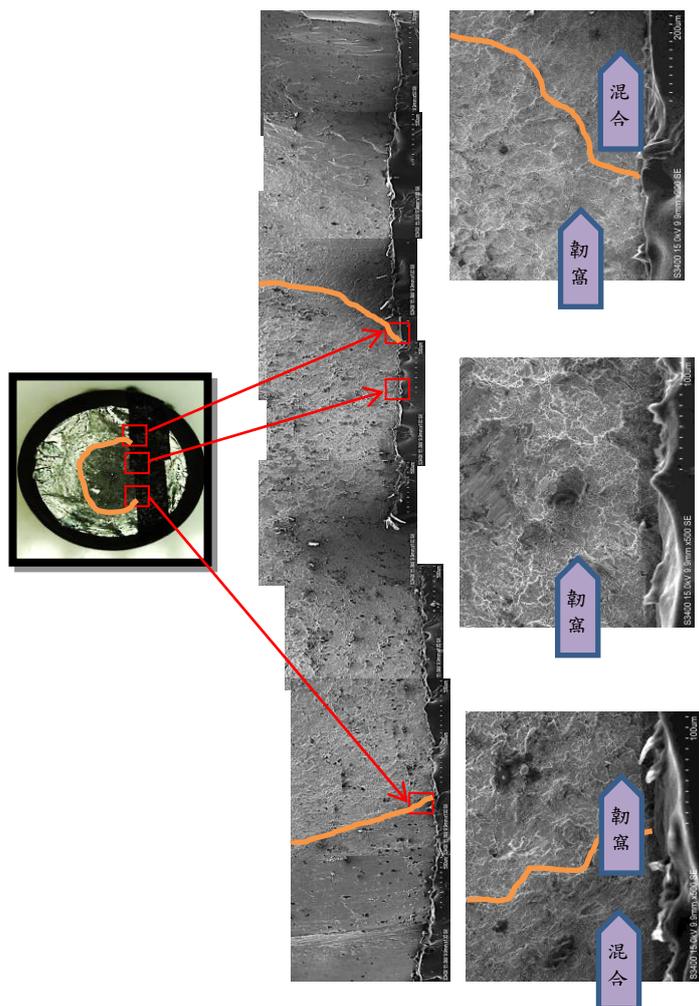


圖 15 扭斷面巨觀、微觀完整形貌

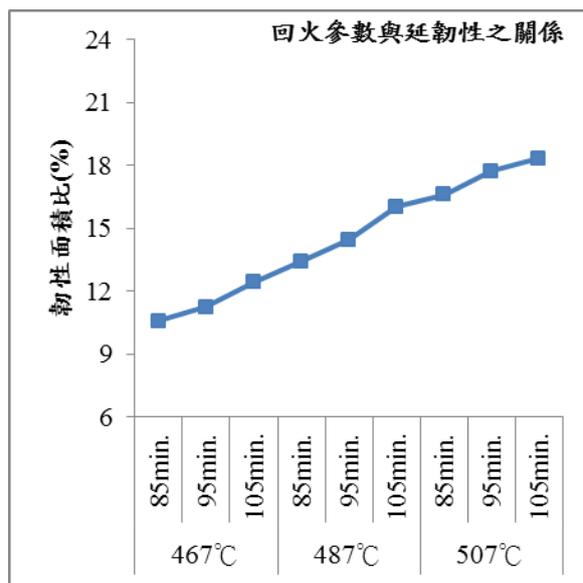


圖 16 回火與韌性面積比之關係

3.6 回火參數與實驗結果總整理

本章節是經過以不同回火參數回火過後的螺栓進行完所有機械性質量測後，交叉比對其數據之關係。由表 4 可以發現，當螺栓進行不同參數的回火時，扭力值與硬度值、基體相碳含量呈現正比之關係，而與延韌性呈現反比的走勢，此乃當回火溫度升高與回火時間增加時，肥粒鐵基體相的相分率增加使得材料強度下降、硬度值也下降，但肥粒鐵的增加也使得材料延韌性有所提升。而在同一回火溫度下回火時間越長，扭力值與硬度值相對穩定。

表 4 實驗數據總整理

回火溫度 (°C)	回火時間 (min.)	扭力值 (Nm)	扭力值標準差	硬度值 (HRC)	硬度值標準差	基體相碳含量 (Wt%)	韌性面積比 (%)
467	85	436	9.67	33	0.24	2.6	10.58
	95	430	7.48	32.16	0.14	2.45	11.26
	105	428.8	2.99	31.66	0.10	2.16	12.44
487	85	422.4	7.1	31.08	0.12	2.14	13.43
	95	423.4	7.28	30.8	0.11	2.03	14.45
	105	413	5.02	30.06	0.08	1.83	16.05
507	85	410	10.94	29.56	0.15	1.77	16.61
	95	407.8	4.66	28.6	0.19	1.42	17.74
	105	404	3.91	27.98	0.07	1.33	18.33

4、結論

本研究乃針對不同回火參數對扭力值影響之探討，即於將 10B33 扭力控制型斷尾螺栓施以不同的回火溫度與不同回火時間之熱處理後，進行扭力值、硬度值、扭斷面與顯微組織之交叉分析，可歸納結果如下所述：

1. 由實驗扭力值數據可以得知，回火溫度(467°C、487°C、507°C)越高扭力值會越低、回火時間(85 分鐘、95 分鐘、105 分鐘)越長扭力值也會越低；當在同一回火溫度時，回火時間越長扭力值越穩定。而本研究在回火溫度 467°C，回火時間 105 分鐘時扭力值為最穩定。
2. 由實驗硬度值數據可以得知，回火溫度(467°C、487°C、507°C)越高硬度值會越低、回火時間(85 分鐘、95 分鐘、105 分鐘)越長硬度值也會越低；當在同一回火溫度時，回火時間越長時硬度值相對穩定。
3. 由回火顯微組織可以發現，當回火溫度(467°C、487°C、507°C)越高、回火時間(85 分鐘、95 分鐘、105 分鐘)越長時，其回火麻田散鐵針狀黑色組織會越短，而白色肥粒鐵基地相會越多。
4. 由 EDS 的結果顯示，當回火溫度越高(467°C、487°C、507°C)時，基地相中的碳含量會逐漸的減少；而由 Mapping 結果顯示當回火溫度越高(467°C、487°C、507°C)時，肥粒鐵的比例逐漸的增加。
5. 由扭斷面的分析中可以發現，當回火溫度越高(467°C、487°C、507°C)、回火時間越長(85 分鐘、95 分鐘、105 分鐘)時，韌脆面積比會越大。
6. 由所有機械性質的交叉比較可以發現，扭力值與硬度值、基地相碳含量成正比的關係，而扭力值與延韌性成反比的關係。

5、致謝

感謝晉禾公司提供螺栓產品與扭力試驗機以提供本實驗所使用。

6、參考文獻

- [1].騰冠,“高強度螺栓的緊固分析”,裝備製造技術第4期,163-171,(2009).
- [2].程強,“高強度螺栓扭矩係數K測定方法”山東輕工業學院學報第11卷第4期,(1997).
- [3].陳正平,“高強度螺栓鎖固之原理及應用介紹”,鋼結構會刊第二十八期,pp32-35,(2007).
- [4].黃振賢編著,“金屬熱處理”,文京圖書發行,pp55,89年12月第18版.
- [5].O.D Sherby,J.Wadsworth,D.R.Lesure,C.K.Syn,“Revisiting the Sturcture of Martensite in Iron-Carbon Steels”,Materials Transactions,49,2016-2027(2008).
- [6].莊東漢,“材料破損分析”,pp144-145,五南出版,(2010).