

國立交通大學

機械工程學系

碩士論文

**SK5工具鋼鋸齒局部感應熱處理硬化研究**  
Partial Hardening of SK5 Tool Steel Saw Teeth  
by Induction Heat Treatment



研究生：陳有毅

指導教授：徐瑞坤 教授

中華民國九十九年七月

SK5 工具鋼鋸齒局部感應熱處理硬化研究

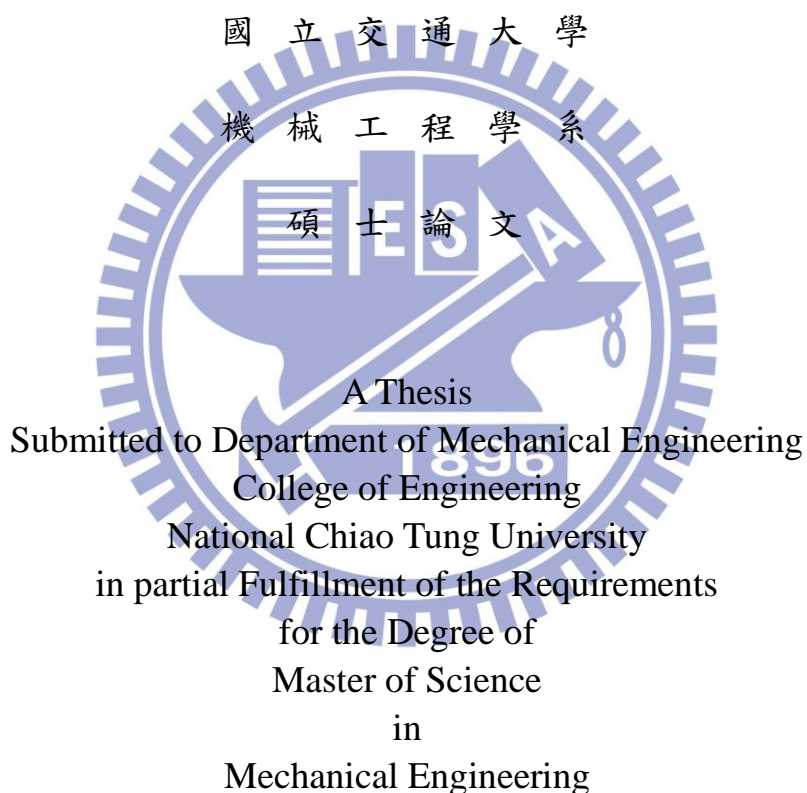
Partial Hardening of SK5 Tool Steel Saw Teeth  
by Induction Heat Treatment

研 究 生：陳有毅

Student：Yu-Yi Chen

指 導 教 授：徐瑞坤

Advisor：Ray-Quan Hsu



July 2010

Hsinchu, Taiwan, Republic of China

中華民國九十九年七月

# SK5 工具鋼鋸齒局部感應熱處理硬化研究

研究生：陳有毅

指導教授：徐瑞坤 教授

國立交通大學機械工程學系

## 摘要

工具鋼由於加工容易，易得到高硬度與耐磨性，在工業上通常應用於各種刀具、手工具等。工具鋼也有缺點，如硬化深度淺、回火軟化抵抗力小等。要提升工具鋼的機械性質必須施以適當的熱處理。

本研究的對象為 SK5 製作的木工手鋸鋸齒，利用高週波感應技術能讓工件局部加熱的特點，並配合後續的熱處理方法，希望得到鋸齒的前緣、尖點具有高硬度以及耐磨的特性，而鋸齒後方要具有適度韌性，使用上才不會造成斷裂。

實驗時以：高週波淬火、高週波淬火後進行低溫回火、高週波淬火後進行二次淬火、高週波淬火後進行二次淬火再低溫回火等不同條件對鋸齒施以熱處理，並以硬度量測、金相試驗與磨耗測試等評估方法比較熱處理的效果。

研究結果顯示 SK5 鋸片以高週波感應加熱衝風淬火後再以 150°C 回火 30 分鐘的條件，於鋸齒前鋒線處有較高的硬度值，並於磨耗試驗上有較佳的表現。

若鋸齒尖點的硬度值高，但鋸身處沒有較柔軟的質地吸收鋸切時的作用力，會形成齒尖的破裂，降低鋸片使用的壽命。

關鍵字：高週波感應加熱、SK5 工具鋼、局部硬化

Partial Hardening of SK5 Tool Steel Saw Teeth  
by Induction Heat Treatment

Student : Yu-Yi Chen

Advisor : Dr. Ray-Quan Hsu

Department of Mechanical Engineering  
National Chiao Tung University

## ABSTRACT

Tool steels usually are used in a variety of cutting tools and hand tools, because they are easy to process, can achieve high hardness and have good wear resistance. However, tool steels have some drawbacks, such as low hardenability and temper softening. Tool steels must impose the appropriate heat treatment to improve the mechanical properties.

The material of this study is JIS SK5 tool steel often used in Japanese woodworking handsaw blade. High frequency induction heating could heat a specific part of workpiece. To make use of this characteristic together with subsequent heat treatment, we hope to make an ideal saw tooth which have high hardness on the cutting edges and good wear resistance. However, if the saw don't have appropriate toughness in the saw body, it will shorten the life of saw blade.

The heat treatments in this study were high-frequency induction heating and air quenching, low temperature tempering after high-frequency induction heating and air quenching, double quenching after high-frequency induction heating and air quenching, and low temperature tempering after double quenching. To evaluate the effect of heat treatments we measured the hardness distribution on the saw teeth, examine the micro-structures of the teeth and wear testing.

The results showed that the saw teeth treated with high-frequency air quenching and tempering for 30 minutes at 150°C had higher hardness on the cutting edges and better wear performance.

On the other hand, the saw teeth rupture and shortening the life of the saw blade were caused by hard teeth tip without soft body texture to absorb the cutting force.

Keywords: High frequency induction heating, SK5 tool steel, Partial hardening



## 誌謝

兩年的研究所生涯於轉瞬之間結束了，在此首先要感謝我的指導老師徐瑞坤教授對我論文上的指導，也因有教授不斷灌輸做研究的方法及態度，此篇論文才得以順利完成。感謝論文口試委員向四海教授、陳仁浩教授與洪景華教授對論文上的指導，使得此篇論文更加完善。

感謝 EE407 成型實驗室的所有研究成員，達嵐學長、維堂學長與宣諭學長給我在研究與生涯上的方向與幫助，感謝同期的實驗成員偉仁、人瑜、立群及俊億陪我一起修課與學習，感謝學弟們使得實驗室天天都很開心。此外也要謝謝在研究上幫助過我和與陪我一起玩樂的所有夥伴們，有你們的陪伴讓我度過了兩年多姿多彩的研究所生涯，一路上有你們，真好。

感謝安用公司提供研究上使用的試片以及公司內部的所有成員於實驗上的鼎力協助，特別感謝李永清經理與我討論論文並且給予指導與建議，使得本論文具有業界上的專業基礎架構。

最後也是最重要的，感謝我的家人，感謝父母 20 幾年來的付出以及養育之恩，讓我順利完成求學之路沒有牽掛，這是令我沒齒難忘的，謝謝你們。

有毅 謹識

2010.7

# 目錄

摘要.....	i
ABSTRACT.....	ii
誌謝.....	iii
目錄.....	iv
表目錄.....	vii
圖目錄.....	viii
第一章 緒論.....	1
1-1 前言.....	1
1-2 研究動機與目的.....	3
1-3 文獻回顧.....	5
第二章 木工手鋸鋸齒之硬化需求.....	10
2-1 木工手鋸簡介.....	10
2-1-1 木工鋸的分類.....	10
2-1-2 木工手鋸齒齒型.....	11
2-1-3 西洋鋸與日本鋸之比較.....	12
2-2 鋸齒部位名稱與製程.....	14
2-2-1 鋸片製作流程.....	15
2-2-2 鋸齒熱處理.....	15
2-3 感應熱處理簡介.....	17
2-3-1 高週波感應熱處理在工業上的應用.....	17
2-3-2 感應加熱的原理.....	19
2-3-3 高週波感應加熱的特徵.....	22
2-3-4 高週波感應的三大效應.....	23

2-4	工具鋼熱處理簡介 .....	26
2-4-1	工具鋼淬火硬化 .....	26
2-4-2	鋼的最高硬度 .....	28
2-4-3	二次淬火 .....	28
2-4-4	回火 .....	29
2-5	磨耗簡介.....	33
2-5-1	刀具材料 .....	33
2-5-2	工具磨耗 .....	35
2-5-3	木工鋸齒磨耗 .....	38
第三章	實驗設備與程序.....	52
3-1	實驗方法.....	52
3-2	試片材料與規格 .....	53
3-3	實驗設備.....	54
3-3-1	感應熱處理機.....	54
3-3-2	測驗儀器與材料 .....	55
3-4	實驗步驟.....	57
3-4-1	高週波淬火對照組 .....	57
3-4-2	高週波淬火後進行回火熱處理 .....	58
3-4-3	高週波淬火後進行二次淬火熱處理 .....	58
3-4-4	高週波淬火後進行二次淬火再回火熱處理 .....	59
3-5	實驗後處理與結果分析 .....	59
3-5-1	高週波淬火硬化深度評估 .....	60
3-5-2	硬度量測 .....	61
3-5-3	金相試驗 .....	62

3-5-4 鋸片磨耗測試.....	63
第四章 結果與討論.....	75
4-1 脈衝式感應熱處理後試片外觀.....	75
4-2 硬度分布.....	76
4-2-1 實驗試片施以高週波淬火後硬度分布.....	76
4-2-2 施以高週波淬火及回火後硬度分布.....	77
4-2-3 施以高週波淬火及二次淬火後硬度分布.....	78
4-2-2 施以高週波淬火及二次淬火後再回火後硬度分布.....	80
4-3 金相組織.....	81
4-3-1 實驗試片施以高週波淬火後不同區域之金相組織.....	81
4-3-2 施以高週波淬火及回火後之金相組織.....	82
4-3-3 施以高週波淬火及二次淬火後之金相組織.....	83
4-4 磨耗試驗.....	84
4-4-1 實驗試片與其回火後之磨耗試驗.....	84
4-4-2 實驗試片與其二次淬火再回火後之磨耗試驗.....	85
第五章 結論與未來發展.....	116
5-1 結論.....	116
5-2 未來發展.....	117
參考文獻.....	121
附錄.....	124

## 表目錄

表 1-1	表面處理技術分類 .....	8
表 2-1	市售木工具用鋸的種類及特性 .....	40
表 2-2	鋸齒依照施力方向分類 .....	41
表 2-3	縱切鋸與橫截鋸的比較 .....	41
表 2-4	日本鋸與西洋鋸之比較 .....	42
表 3-1	SK5 鋼捲機械性質與成分分析 .....	64
表 5-1	超深冷處理耐磨耗性的提升率 .....	119
附表 1	高週波淬火後硬度 .....	124
附表 2	Shark Saw 鋸齒硬度 .....	125
附表 3	高週波淬火及 150°C 回火 30 分鐘後空冷硬度 .....	125
附表 4	高週波淬火及 200°C 回火 30 分鐘後空冷硬度 .....	126
附表 5	高週波淬火及 250°C 回火 30 分鐘後空冷硬度 .....	126
附表 6	高週波淬火及 800°C 持溫 15 秒二次水淬火硬度 .....	127
附表 7	高週波淬火及 800°C 持溫 30 秒二次水淬火硬度 .....	127
附表 8	高週波淬火及 800°C 持溫 1 分二次水淬火硬度 .....	128
附表 9	高週波淬火及 800°C 持溫 2 分二次水淬火硬度 .....	128
附表 10	高週波淬火及 800°C 持溫 30 分二次水淬火硬度 .....	129
附表 11	高週波淬火及 800°C 30 分二次淬火 150°C 回火 30 分硬度 ..	129
附表 12	高週波淬火及 800°C 30 分二次淬火 200°C 回火 30 分硬度 ..	130
附表 13	高週波淬火及 800°C 30 分二次淬火 250°C 回火 30 分硬度 ..	130



## 圖目錄

圖 1-1	武士刀的橫斷面結構及其日文名稱 .....	9
圖 2-1	BSI 分類的 Tooth forms and sharpening .....	43
圖 2-2	日本鋸與西洋鋸的鋸齒比較圖 .....	44
圖 2-3	CNS 1096 中之鋸齒各部位稱呼法.....	44
圖 2-4	BS 3159-1 中之鋸齒各部位稱呼法 .....	45
圖 2-5	其餘鋸齒部位的中文名稱 .....	45
圖 2-6	鋸齒齒數算法與表示法 .....	45
圖 2-7	感應加熱線圈、空氣吹嘴與鋸齒位置感應器 .....	46
圖 2-8	脈衝感應熱處理黑暈示意及硬度量測點 .....	46
圖 2-9	電場感應與磁場感應之示意簡圖 .....	47
圖 2-10	電場感應加熱原理示意簡圖 .....	48
圖 2-11	最高硬度以及含碳量之關係.....	48
圖 2-12	碳鋼之含碳量—麻田散鐵量—硬度三者關係圖 .....	49
圖 2-13	工具磨耗之多種要因圖 .....	49
圖 2-14	各種工具之 VT 壽命曲線與 n 值.....	50
圖 2-15	切削工具磨耗的位置 .....	50
圖 2-16	鋸齒磨耗的量測 (ED 與 ER) .....	50
圖 2-17	磨擦磨耗 (Adhesion wear) 的型態 .....	51
圖 3-1	實驗流程圖.....	65
圖 3-2	Shark Pullsaw 鋸子外觀 .....	66
圖 3-3	實驗用與 Shark Saw 鋸齒尺寸圖 .....	66
圖 3-4	脈衝式感應加熱機 .....	67
圖 3-5	冷卻水裝置.....	67

圖 3-6	自動輸送裝置送料端 .....	68
圖 3-7	自動輸送裝置輸送段 .....	68
圖 3-8	自動輸送裝置收料端 .....	69
圖 3-9	感應熱處理機與自動運輸裝置總成 .....	69
圖 3-10	可程式控制之熱處理爐 .....	70
圖 3-11	熱鑲埋機 .....	70
圖 3-12	熱鑲埋機 .....	71
圖 3-13	研磨機 .....	71
圖 3-14	研磨拋光機 .....	72
圖 3-15	顯微維氏硬度試驗機 .....	72
圖 3-16	光學金相顯微鏡 .....	73
圖 3-17	軍刀具組 .....	73
圖 3-18	硬化層深度的表示 .....	74
圖 3-19	磨耗試驗鋸片與松木位置 .....	74
圖 4-1	實驗用鋸片單一鋸齒 .....	86
圖 4-2	Shark Saw 單一鋸齒 .....	86
圖 4-3	實驗試片高週波淬火後硬度分布圖 .....	87
圖 4-4	實驗試片高週波淬火後硬度曲線圖 .....	87
圖 4-5	高週波淬火後硬度分布疊合黑暈照片 .....	88
圖 4-6	Shark Saw 硬度分布圖 .....	89
圖 4-7	Shark Saw 硬度曲線圖 .....	89
圖 4-8	Shark Saw 硬度分布疊合黑暈照片 .....	90
圖 4-9	高週波淬火及 150°C 回火 30 分鐘後空冷硬度分布圖 .....	91
圖 4-10	高週波淬火及 150°C 回火 30 分鐘後空冷硬度曲線圖 .....	91

圖 4- 11	高週波淬火及 200°C 回火 30 分鐘後空冷硬度分布圖 .....	92
圖 4- 12	高週波淬火及 200°C 回火 30 分鐘後空冷硬度曲線圖 .....	92
圖 4- 13	高週波淬火及 250°C 回火 30 分鐘後空冷硬度分布圖 .....	93
圖 4- 14	高週波淬火及 250°C 回火 30 分鐘後空冷硬度曲線圖 .....	93
圖 4- 15	鋸齒不同部位於不同回火溫度下的硬度變化 .....	94
圖 4- 16	高週波淬火後以 800°C 持溫 15 秒二次水淬火硬度分布圖 ....	94
圖 4- 17	高週波淬火後以 800°C 持溫 15 秒二次水淬火硬度曲線圖 ....	94
圖 4- 18	高週波淬火後以 800°C 持溫 30 秒二次水淬火硬度分布圖 ....	95
圖 4- 19	高週波淬火後以 800°C 持溫 30 秒二次水淬火硬度曲線圖 ....	95
圖 4- 20	高週波淬火後以 800°C 持溫 1 分二次水淬火硬度分布圖 .....	96
圖 4- 21	高週波淬火後以 800°C 持溫 1 分二次水淬火硬度曲線圖 .....	96
圖 4- 22	高週波淬火後以 800°C 持溫 2 分二次水淬火硬度分布圖 .....	97
圖 4- 23	高週波淬火後以 800°C 持溫 2 分二次水淬火硬度曲線圖 .....	97
圖 4- 24	高週波淬火後以 800°C 持溫 30 分二次水淬火硬度分布圖 ....	98
圖 4- 25	高週波淬火後以 800°C 持溫 30 分二次水淬火硬度曲線圖 ....	98
圖 4- 26	於 800°C 不同持溫時間二次淬火後硬度的變化曲線 .....	98
圖 4- 27	試片二次淬火後以 150°C 回火 30 分鐘硬度分布圖 .....	99
圖 4- 28	試片二次淬火後以 150°C 回火 30 分鐘硬度曲線圖 .....	99
圖 4- 29	試片二次淬火後以 200°C 回火 30 分鐘硬度分布圖 .....	100
圖 4- 30	試片二次淬火後以 200°C 回火 30 分鐘硬度曲線圖 .....	100
圖 4- 31	試片二次淬火後以 250°C 回火 30 分鐘硬度分布圖 .....	101
圖 4- 32	試片二次淬火後以 250°C 回火 30 分鐘硬度曲線圖 .....	101
圖 4- 33	試片二次淬火後於不同回火溫度 30 分鐘硬度變化曲線 .....	101
圖 4- 34	高週波淬火後以稀硝酸溶液浸蝕拼接照片 .....	102

圖 4- 35 含碳量 0.76%工具鋼之 C.C.T.曲線.....	102
圖 4- 36 高週波感應加熱衝風淬火後的試片金相組織 .....	103
圖 4- 37 Shark Saw 以稀硝酸溶液浸蝕拼接照片 .....	103
圖 4- 38 Shark Saw 試片金相組織.....	104
圖 4- 39 實驗試片於不同溫度下回火 30 分鐘之金相組織 .....	105
圖 4- 40 實驗試片於 800°C 持溫 30 分二次淬火後之金相組織 .....	106
圖 4- 41 實驗試片於 800°C 持溫 30 秒後二次淬火金相組織 .....	107
圖 4- 42 鋸片磨耗測試 (500x) .....	108
圖 4- 43 鋸片磨耗測試 (50x) .....	108
圖 4- 44 鋸片經 150°C 回火後磨耗測試 (500x) .....	109
圖 4- 45 鋸片經 150°C 回火後磨耗測試 (50x) .....	109
圖 4- 46 高週波淬火後試片磨耗測試數值化結果 .....	110
圖 4- 47 高週波淬火及 150°C 回火 30 分試片磨耗測試數值化結果 ..	110
圖 4- 48 鋸片經 200°C 回火後磨耗測試 (500x) .....	111
圖 4- 49 鋸片經 200°C 回火後磨耗測試 (50x) .....	111
圖 4- 50 鋸片經 250°C 回火後磨耗測試 (500x) .....	112
圖 4- 51 鋸片經 250°C 回火後磨耗測試 (50x) .....	112
圖 4- 52 高週波淬火及 200°C 回火 30 分試片磨耗測試數值化結果 ..	113
圖 4- 53 高週波淬火及 250°C 回火 30 分試片磨耗測試數值化結果 ..	113
圖 4- 54 鋸片二次淬火後經 150°C 回火磨耗測試 (200x) .....	114
圖 4- 55 鋸片二次淬火後經 150°C 回火磨耗測試 (50x) .....	114
圖 4- 56 鋸片二次淬火後經 200°C 回火磨耗測試 (200x) .....	115
圖 4- 57 鋸片二次淬火後經 200°C 回火磨耗測試 (50x) .....	115
圖 5- 1 碳鋼的含碳量和熱處理種類對耐磨性的影響 .....	120



# 第一章 緒論

## 1-1 前言

工業上使用的金屬材料中，鋼鐵材占絕大多數，其強度、硬度、延性等機械性質優良，且施以各種熱處理或表面處理時，可適當地改良性質。


所謂熱處理是指對材料施以適當的加熱和冷卻，而利用加熱和冷卻的配合來得到所需要的特性為目的之處理而言。對某一種材料來講，雖然它的化學成份相同，但是施以不同的熱處理時，因為可以改變它的組織，所以可以得到不同的特性，例如不同的機械性質或物理性質等。

表面處理乃藉由各種表面處理技術改良材料表面的性質，增強機械元件的性能與使用壽命，是附加價值很高的工程技術。近年來機械工業已朝高負荷、高達轉方向發展，對機械元件在材料表面，性質上的要求也日益嚴苛，因此各種不同的表面技術也因應而生[1]。

很多機械零件在使用時會受到摩擦作用，如果材料的耐磨耗性低時，零件就容易被磨損而無法維持機械的精確性因而縮短使用的壽命。對鋼鐵材料而言，若只施以淬火回火處理，在追求高硬度以提升耐磨耗性的同時，往往是無法兼顧材料的強韌性，為了同時滿足兩種需求，表面硬化是一個可行的解決方法。



鐵基材料的表面硬化方法有很多種，可分為化學方法和物理方法，表 1-1 所示是其中的一種分類方法[2]，所謂的表面層變成法是將材料表層的組織加以改變，以達到硬化目的的方法。這種方法可分為兩大類：一為熱化學製程（Thermochemical process），即將碳、氮等元素，在高溫下滲入材料工件表層，如滲碳、滲碳氮化、氮化等等；另一類為熱製程（Thermal process），處理時材料的化學成分不變，只改變表面層組織的方法，例如將鋼鐵材料表面加熱至沃斯田鐵化溫度以上，隨即淬火使之產生麻田散鐵而硬化。



高週波感應淬火是屬於熱製程的表面層變成法，其原理是利用感應加熱的方式，使工件需要硬化的部位加熱到沃斯田鐵化溫度，然後淬火急速冷卻，而生成堅硬的麻田散鐵組織，達到硬化的目的。高週波感應加熱的特點為可局部加熱，且加熱速率快，處理時間短，工件的氧化、脫碳可以忽略，且工件的加熱溫度可高至其熔點附近，而不影響設備的使用壽命，因此近年來被廣泛的應用。

## 1-2 研究動機與目的

碳工具鋼由於價格便宜，加工容易，淬火方法簡單，容易得到高硬度，所以在工業上的應用相當廣泛，通常應用於各種刀具、手工具等僅需高硬度及良好的耐磨性，而不講究高精度、耐熱、耐蝕的產品上。不過相對的碳工具鋼也有諸多缺點，例如硬化深度淺、對回火的軟化抵抗力小、高溫硬度低、切削耐久性短等等。若要提升碳工具鋼的機械性質必須施以適當的熱處理。

以碳工具鋼為材料製造出來的手工具或零件，一般都會經過淬火回火處理，而淬火回火處理對機械性質的改善有一定的限制，通常為了追求韌性的增加，硬度會隨著快速下降[3]。以機械零件來說，除了基本的要求硬度高，韌性也是重要的考量因素，如果一味的追求高硬度，則零件在作業流程中，很容易因為韌性不足而發生斷裂或破壞。

就一般淬火回火的處理而言，想要同時達到工件表面與外側硬而本體處強韌，是有互相抵觸之處，通常碳含量高，淬火回火後硬度較高，而韌性則較差，難以兩全其美。

另外可達到此需求的方法為使用複合材料，如同日本武士刀的製作，利用鍛造的方法結合四種不同碳含量的鋼料，見圖 1-1；或者使用表面塗

覆的技術，但以上兩種技術應用在工業上皆為二次以上加工法，會造成成本的提升，並且時間也會較單純的熱處理來的久。

目前市面上所販售的木工手鋸大部分皆使用高週波感應加熱技術將齒尖淬火，利用鋼材不同組織具有不同特性的特色，使得單一鋼材當中出現複合材料的性質。但尖點的硬度與邊緣處皆無法有效的提升硬度，導致鋸齒的壽命無法有效的提高。

故本研究的重點在於討論高週波感應加熱技術與後續的熱處理法，研究的對象為 SK5 工具鋼製作的木工手鋸，利用高週波感應加熱技術能夠施予工件局部加熱的特點，並且搭配後續的熱處理程序，目標是希望得到鋸齒的前緣、尖點與表面具有高硬度以及耐磨的特性，以增加使用壽命；而在靠近鋸片本體處的鋸齒要具有適度的韌性，在使用上才不會造成斷裂而產生崩牙的情況。

### 1-3 文獻回顧

關於鋸切方面的文獻，國內關於木工手鋸的文獻討論通常在於外觀的設計與握把處的人因工程為主，對於鋸片或鋸齒本身的討論則相當稀少。

鋸削時刀鋸與工間之作用方式不同，可分為摩擦式鋸切（Friction sawing）與冷鋸（Cold sawing）兩種。所謂摩擦式鋸切的加工法，切削時刀鋸鋸齒與工件接觸的速度高於 $100\text{ m/sec}$ ，是高速剪斷加工的一種，加工過程中，刀具與工件間的劇烈摩擦會導致工件切斷面部分熔斷，稱為摩擦式鋸切。而冷鋸是指鋸削時鋸片直接對工件做切削，移除材料而致切斷的加工方法，其速度較摩擦式鋸切來的慢。本研究的鋸切工件對象為木材，加上為手工使用，所以並無熔斷的情況發生，故本研究僅考慮冷鋸加工的部分。1978年 Williston 在“Saws: design, selection, operation, maintenance”一書中整理鋸子的主要特徵與種類[4]。

1964年 Koch 發表 Wood machining processes 提及木鋸鋸齒的幾何形狀[5]，1972年 Quelch 於 Sawmill Feeds and Speeds, Band and Circular Rip Saws 中研究鋸木廠中帶鋸與圓鋸鋸切的給進速度與於木材中的鋸齒切削路徑[6]，1974年 Thompson 發展了以弓鋸為基礎的鋸削模式，由其結果可知，在切削過程中，平均切削深度與鋸齒作用於工件上之進給力呈線性關係而



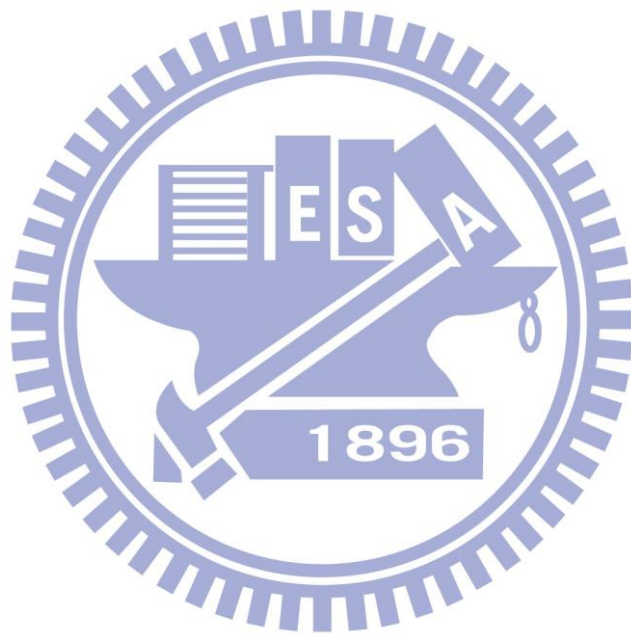
此一比例即是切削常數，這是 Thompson 由實驗而歸納出的結果[7]。1989 年 Ahmad、Hogan 及 Goode 沿用 Thompson 的基本觀念，針對水平式鋸床，探討可能影響切削常數的參數，如進給力，鋸帶速度工件寬度等。Ahmad 等人的研究顯示出帶鋸速度越高時，由於切削比（Cutting ratio）的改變，切削常數呈遞減趨勢，而進給力與工件寬度對切削常數則無明顯影響[8]。

高週波表面硬化處理之研究，可從 H.B. Osborn 及 W.B. Kim 等人於 1945 年所發表的文獻中[1, 9-10]，查詢到有關高週波表面硬化處理方面的研究報告。

1997 年成大機械所陳意維比較分析雷射硬面處理與高週波感應表面硬化顯微組織特性中，高週波感應硬化實驗分別以 AISI 4140、AISI 4340 為母材，經由 400 kHz 之高週波表面感應硬化後，分析材料、線圈間距、移動速度對硬度、溫度、拉伸及金相顯微組織的影響。指出高週波感應硬化良莠端視瞬間之沃斯田鐵化程度與隨後淬火之麻田散鐵變態是否完全所決定。高週波感應硬化之後表面最高硬度可達 700~800 HV 間，而最高硬度值通常在距離表面 0.1~0.2 mm 附近，較同一材質一般淬火熱處理所得到之硬度值為高，此一超硬現象與表面形成細密麻田散鐵組織及形成殘留壓應力有關。高週波感應硬化表面感應溫度愈高所得之硬度值愈高[1]。



2004 年台大機械所鄭嘉祥使用感應加熱的方式，對 SK4 碳工具鋼為材料之縫紉針進行局部硬化處理的研究，其目的為了能使縫紉針兼具韌性和針尖局部高硬度的要求，嘗試以兩次淬火並回火<sup>1</sup>來改良其性質[11]。



---

<sup>1</sup> 施以針尖局部淬火→淬火→回火

表 1-1 表面處理技術分類[2]

表面技術上的分類		主要的表面硬化法		
		分類	一般的名稱	
表面層變成法	從金屬表面滲透擴散元素，而改變表面層的化學成分		以滲透擴散的元素加以分類	C
		N		氮化法
		C、N		滲碳氮化法
		S		滲硫法
		S、N		滲硫氮化法
		B		硼化法
		O		水蒸氣處理
		金屬元素		金屬滲透法
	不改變金屬的化學成分只改變表面層的組織	以加熱方法加以分類	火焰	火焰淬火
			高週波	高週波淬火
			電漿	電漿表面硬化法
			雷射	雷射表面硬化法
			電子束	電子束表面硬化法
表面被覆	金屬被覆	熔融金屬的熔著	Hardfacing 硬面熔覆	
			Facelining 硬面襯覆	
		熔融、半熔融金屬的熔射	熔射法	
			放電硬化處理	
		利用放電的熔著	推焊	
			電鍍	
	溶液中的電鍍	電鍍擴散法		
	蒸著被覆	利用氣體的化學反應蒸著	CVD 法	
在真空中蒸發金屬的蒸著		PVD 法	真空蒸著	
	離子鍍覆			
	濺射			
非金屬被覆	陶瓷等被覆	熔射法		

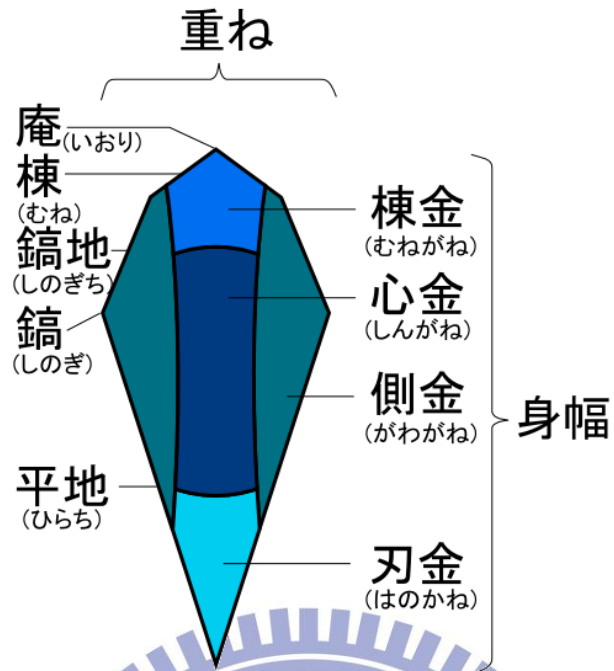


圖 1-1 武士刀的橫斷面結構及其日文名稱[12]



## 第二章 木工手鋸鋸齒之硬化需求

### 2-1 木工手鋸簡介

鋸子種類繁多，每種不同用途的手鋸在操作型態上也有其差異存在，鋸切的物件種類也有所不同。手鋸是木工作業最常用的手工具之一，在DIY 盛行的歐美國家，不管是在工廠或是家庭都幾乎算是必備之工具。而建築和家具製造常常需要橫切或縱切木材，本研究中將以木工用手鋸進行分析研究。

#### 2-1-1 木工鋸的分類

木工用手鋸上可分為：手鋸（Hand saw，亦稱為 Tool box saw）、雙面鋸、弓鋸、彎鋸及線鋸等，參見表 2-1。以鋸齒特性來分，可分為：推鋸、拉鋸以及雙刃鋸。這三種鋸齒最大的差異在於使用者在進行鋸切動作時，手部的施力方式會有顯著的差異。在使用推鋸時，因為鋸齒特性的關係，使用者只有向前推進的力量會對手鋸的操作產生有效的鋸切作用力，使用拉鋸時則相反。而雙刃鋸則是改良鋸齒的切削型式，使其在推或拉的鋸切動作中都能產生作用，參見表 2-2。

而在歐美地區較常用的手鋸，又分為縱切（Ripping）與橫截（Crosscutting）二種，專用於直線切鋸及木料面寬之材料。縱切鋸用於順

木紋鋸切，鋸切方向與木材纖維平行，而橫截鋸則用於橫斷木材鋸切，鋸切方向與木材纖維成一夾角。這兩種鋸的主要區別是鋸齒的開齒方法不同：縱切鋸鋸齒的切削刃與鋸條成  $90^\circ$ ，其作用像一排鑿子，齒型呈銳角之鑿刀形，齒疏而鋒利齒室也較大；橫截鋸的鋸齒類似刀刃，較小呈尖刀形，交替地向兩邊打開，較鋒利且齒室較小、排列較密，使鋸成的鋸縫兩側成平行線，便於鋸斷木材。而其中橫截鋸有較密的鋸齒，因此可以獲得較精細的切割，也可以當縱切鋸使用，在市場佔有率較縱切鋸高，見表 2-3。

### 2-1-2 木工手鋸齒齒型

在上節中提及幾種鋸齒的齒型，分別為推鋸、拉鋸以及雙刃鋸鋸齒，其中推鋸的鋸齒又可以分為縱切鋸和橫截鋸鋸齒。而另外在英國標準協會（BSI）中編號為 BS 3159-1 的 Woodworking saws for hand use 提到五種齒型的分類，如圖 2-1 所示[13]，不過目前以各國大廠所生產的鋸子來看，越來越多的比例採用複合鋸齒（Compound teeth）齒型來製作鋸子，因其切削性比其餘幾種齒型來的優良，且較可以適用於多種用途。此種齒型的鋸子最早由日本開始採用，日本系統的鋸子形式較常使用拉鋸，所以歐美手鋸的複合鋸齒與日本鋸的鋸齒方向是相反的。但是若排除手把位置，可



以確定的一點是，在切割工件時，鋸齒上與工件越接近垂直的切割面所面對的方向，通常是切割的施力方向。

### 2-1-3 西洋鋸與日本鋸之比較

在生產製造廠商中發現，廠商依照銷售地區的手鋸型式以及數量，可大致推測出東西方使用者的習慣有顯著的不同，在歐美地區以手鋸為主，鋸齒特性為推鋸；日本地區則以一般雙刃鋸及摺合鋸為主，鋸齒特性則為拉鋸。日本地區所發展出的木工用具操作特性多為拉方向施力，而歐美地區多為推向施力，在鋸子以及鉋子上皆可觀察到此種現象。關於此點，在文獻中已有部分相關研究資料可供佐證[14-15]。而拉方向的施力也會有其好處，因為推鋸要抵抗木材夾持鋸片的發生，一旦發生夾持鋸片的現象，鋸片若剛性不夠的話會造成曲折的現象，所以推鋸的鋸片需要使用較厚的材料來克服折曲現象的發生，但此種現象幾乎不會在拉鋸身上發生，所以鋸身部分可以做的比較薄些，因此切割路徑較小，會有較精良的工件表面，見表 2-4。

日本鋸與西洋鋸中的主要差異，除了以上提及的操作方向之外，另外齒型也有相當大的差別（圖 2-2），西洋鋸當中的單一鋸齒中，通常只做兩個切割面，BSI 標準中鋸齒圖 2-1 例上的前四種，但是日本鋸的單一鋸

齒上通常製作三個切割面，圖 2-1 中的第五例，也甚至有四個切割面的鋸齒出現，但是不多見於市面上，故本研究裡主要是以三個切割面的日本鋸作為標準。在日本業界通常將最上方的切割面稱之為上目[16]，這是沒有出現在其他國家，而在日本獨有的稱呼方法。

1982 年 Ann S. Bleed 等人比較西洋鋸與日本鋸於鋸切木材所需時間與人體耗氧率之研究，發現鋸切所需時間在比較西洋鋸與日本鋸的結果中，並無顯著的差異，但在耗氧率試驗中，日本鋸卻比起西洋鋸來的有效率多 [17]。

日本鋸發展成為優良的木材切割鋸是有其原因的，在明治天皇時期展開明治維新運動，1873 年開始禁止武鬥，1876 年頒布廢刀令，即禁止警察、軍人以外的人佩帶武士刀。所以當時有許多製作武士刀的師傅轉而製造一般工具，但他們將精良且嚴謹的製刀精神及金屬加工技術帶入了工具製造當中[14]。正因如此，日本鋸算是世界上手鋸發展之目標，許多歐美生產手鋸的大廠，鋸片的金屬材質選擇、鋸齒的形狀或是熱處理都將日本鋸做為目標而發展製作。

## 2-2 鋸齒部位名稱與製程

本研究之重點在於鋸齒之部分，本節之重點在於定義鋸齒每個部位之名稱，但因專於研究鋸子或鋸齒的學術性論文相當稀少，所以引用工業上的標準來定義之較為妥當，中華民國國家標準中木工用手鋸總則 CNS 1096 中有提及鋸齒各部位的稱呼方法，細節請見圖 2-3[18]，但英國標準協會 BS 3159-1 文中之鋸齒各部位稱呼方法與丈量模式與中華民國國家標準有不同，參見圖 2-4[13]。本文盡量以中華民國標準局的稱法為主，配合其他各國的參考資料，將本研究中的部位名稱統一，請見圖 2-5。

鋸齒的大小與加工後工件的切割面細緻程度有關，鋸齒齒數有兩種表示法，分別為  $Tpi$  (Teeth per inch) 與  $Ppi$  (points per inch)， $Tpi$  為一英吋中之鋸齒數， $Ppi$  為一英吋中鋸齒的尖點數，如下方(2.1)式

$$Tpi + 1 = Ppi \quad (2.1)$$

參見圖 2-6， $Tpi$  數值越高的鋸子，鋸齒會越小，以致於鋸切出來的工件切割面結果越細緻，並且可以切割較硬的材質。

### 2-2-1 鋸片製作流程

1. 鋸片的外觀在矯直的鋼板上用沖床衝出鋸身形狀
2. 每一鋸齒利用 cBN<sup>1</sup>砂輪磨出每鋸齒之三個切割面
3. 清除磨屑與毛邊，避免感應加熱時因毛邊的影響而損壞機器
4. 鋸身做應力釋放
5. 打齒（Set teeth），利用機器將鋸齒左右分開
6. 鋸齒感應淬火熱處理
7. 表面防鏽的被膜處理，通常使用樹酯或是烤漆塗覆

以上即為鋸片的製作流程。

### 2-2-2 鋸齒熱處理

鋸齒的熱處理方法在鋸身製作的流程當中視為相當重要的一環，若鋸片本身沒有熱處理，或是熱處理錯誤，會導致在鋸切工件時發生過度磨耗或是崩齒之現象，皆會減短鋸子本身的使用壽命。

本文鋸齒的熱處理為研究安用工業股份公司（TRT）所生產之鋸片，該廠鋸齒的部位採用 SK5 工具鋼製作，並利用高週波感應熱處理的方法進行鋸齒部位的熱處理，鋸齒部分在成形後，由含有夾具的輸送帶運送，鋸

---

<sup>1</sup> 立方晶氮化硼，其硬度、熱傳導率僅次於鑽石，同時其具有與鐵系金屬反應性低的特徵

齒經過與行進方向垂直之感應線圈進行高週波感應加熱，與傳統圓棒形工件直接通過感應線圈的軸心不同。鋸齒離開感應線圈後利用空氣吹嘴讓表面迅速降溫（圖 2-7），廠房中室溫利用空調機保持 21~24℃，達到空氣衝風淬火的目的是。

西洋鋸採用無變頻感應加熱，每個鋸齒在通過感應線圈時，感應線圈的交流電頻率沒有變化，所以鋸齒上的熱處理黑暈範圍鋸齒最尖端處深度皆相等，而在鋸齒上中心部分形成一直線黑暈直線。無變頻感應加熱通常處理一半的鋸齒，而不做全齒感應加熱，其原因為若做全齒感應加熱，會導致鋸齒容易從根部的位置在使用時造成斷裂形成崩牙。

日本鋸則採用脈衝式感應加熱（Induction pulse-hardening），每一鋸齒在通過感應線圈時，利用改測器量測鋸齒在現圈中的位置，並且產生脈衝式的交流電，故每個鋸齒上的黑暈部位會沿著鋸齒的邊緣產生弧狀範圍（示意圖請見圖 2-8），如此一來，在鋸齒的切割面與外緣處會有較硬部位，讓鋸齒達到表層硬、內層韌的效果。



## 2-3 感應熱處理簡介

高週波感應硬化處理是經由相變態而產生表面硬化，是一種提高工件耐磨耗性和疲勞強度的有效方法；目前主要應用於鋼料表面的硬化處理，此種感應硬化的效果與工件材質本身的含碳量及合金成分有關，處理後並不會改變工件材料內部組成成分。利用高週波加熱，加熱迅速，處理時間短，而加熱溫度高又不易產生氧化和脫碳現象，變形扭曲量小、成本低，故目前工業界使用廣泛。

### 2-3-1 高週波感應熱處理在工業上的應用

20世紀30年代初開始，美國、蘇聯先後開始應用感應加熱方法對零件進行表面淬火，而隨著高週波感應加熱技術持續演進，應用範圍愈來愈廣，金屬、塑膠及木材等均可藉此直接快速加熱、熔解、焊接、熔接或表面處理。

高週波感應加熱方式分兩大類，電場感應加熱（或稱作誘電加熱）及磁場感應加熱（或稱作誘導加熱），電場感應加熱高頻的交換電壓加熱電容器間之電介質，對非導體材料加工效果較好，屬選擇性加熱。磁場感應加熱對象為導體，利用高週波利用工作線圈通過高頻電流在周圍產生磁場變化，而工件表面因渦電流效應通過導體的電阻來達到快速直接加熱的效

果。其工作比較簡化圖請參見圖 2-9。

電場感應加熱應用在塑膠熔接，是利用物質分子帶有正負極性電荷的特性，將物質置於平行的兩片極板中，同時在極板上加交流電壓，藉不斷往復運動而相互摩擦發熱產生熔接作用，目前應用在 TPU<sup>2</sup>、PVC<sup>3</sup>用品、潛水衣相關產品、真空泡殼包裝、汽車腳踏墊等產品加工。而此法應用在木材加工上，是其他工法無法取代的，可得到其他加工方法得不到的形狀和強度，且無傳統熱板加工表面過熱粗糙及變型等缺點，主要用於合板成型、曲木等用途，如椅座板、椅背板、樂器和家具等。

磁場感應加熱是本研究中採取的方法，特點為可直接急速加熱、可提高能量密度、控制性優良且沒有火燄，此法主要用於金屬表面硬化處理。

磁場感應加熱應用於金屬方面，如將工具鋼材利用高週波急速加熱至變態溫度以上，然後利用冷卻液急速冷卻後使金屬表面硬化、提高其耐磨性。在精密工業上，如機床導軌、主軸、各式輪軸，其它如精密工具、軸心、凸輪、縫衣針、刀片、高強度螺栓、鋸片等，但要注意的是鋼的含碳量要在 0.3% 以上，工具鋼的含碳量均在 0.6% 以上，故相當適合使用此種加熱方法。

---

<sup>2</sup> 熱塑性聚胺基甲酸酯的簡稱，英文為 Thermoplastic Polyurethane，是 TPE (Thermoplastic Elastomer 熱塑性彈性體) 之一種材料，具有黏性與彈性的特徵，常見於手術手套、止水帶、血袋、保險套等製品

<sup>3</sup> 聚氯乙烯，英文為 Polyvinylchloride，廣泛用於各樣產品：電線、光纖外皮、廣告牌、建築裝潢用品等

此外也可應用於產品的局部熱處理及鍛造前加熱處理。目前此法用在車輛零配件方面有，曲柄軸、凸輪軸、汽門、汽門頂桿、傳動軸、輪軸、齒輪、萬向軸結、避震系統油壓桿、葉片彈簧及插梢、油泵等。

一般日常生活中常見的鐵欄杆、水管、瓦斯管等壓力較小，構造強度要求不是很高的鋼管，大部份均屬以高週波焊接的有縫管，其製造方法，是將所需要厚度與寬度的鋼帶，進入成型機形成管狀後，其焊縫由高週波工作線圈誘導，產生高熱後壓縮熔合而成。

另外在對比較小或很薄的物品焊接過程當中，突出角常有溫度上昇過度，且表面常有酸化及污損等缺點，使用高週波加熱時，能在焊接部份，局部的在短時間內加熱，因此可將焊接部份表面酸化以及焊接部附近的污損降至最低的程度。目前，常用在車刀、鋸片、眼鏡框及金屬盒的焊製。

接下來介紹磁場感應加熱的原理與其效應。

### 2-3-2 感應加熱的原理

感應加熱的原理是利用法拉第感應定律（Faraday's law of induction），以交流電在一組感應線圈上，產生磁通量變化來感應工件，利用工件上造成的渦電流損失（Eddy current loss）和磁滯現象（Hysteresis）造成電阻熱

和磁滯損失，可在瞬間加熱工件的表面，請見圖 2-10。

感應線圈通過交流電時，線圈會發生磁通量變化，線圈周圍會產生交變磁束。此時將導電工件放入線圈中，這交變磁束會貫穿工件，使得工件會產生感應電流，一般稱之為渦電流。分布在工件表層的渦電流會依照歐姆定律（Ohm's law）藉由工件本身的電阻而造成表面的加熱效應。

感應加熱的另一個重要影響因素為磁場效應，所以必須考慮被加熱工件的鐵磁性（Magnetic），若被加熱的工件是非鐵磁性（Non-magnetic）材料，則工件表面無法感應出磁場，此時渦電流是唯一的加熱源。但被加熱的工件若是鐵磁性材料，則除了渦電流之外，還必須考慮磁滯效應（Hysteresis effect）。通常磁性物質放置在交變的磁通量中，會因為磁滯效應的作用，而產生焦耳熱，使部分的能量轉成熱能而散失，這就是磁滯損失（Hysteresis loss）。但是當溫度上升時，磁滯損失將會減小，尤其當溫度超過居里點<sup>4</sup>（Curie point）時，此時材料的磁性將消失而磁滯效應不再出現。在本研究中，感應加熱所使用的電流頻率所造成的加熱溫度已超過居里點，磁滯加熱與渦電流加熱比較起來，是可忽略的，即渦電流所產生的電阻效應是高週波感應加熱的主要因素。

---

<sup>4</sup> 鐵的居禮點為 769°C



渦電流是經由交變磁束感應而產生的，而影響渦電流的因素，除了感應線圈的圈數外，還與頻率變化、導磁率、導電率、被加熱工件與線圈間的距離有關：

### 1. 頻率 $f$ ：

通常頻率是影響渦電流的因素中，能夠透過儀器調整而有效控制的。頻率越高則在表面所感應的渦電流密度也越大，也就是趨膚效應（Skin effect）越明顯。

感應線圈所感應的渦電流大小

$$I \propto f^X$$

(2.2)

其中， $I$ ：渦電流（A）

$f$ ：頻率（Hz）

$X$ ：該頻率之渦電流與 $f$ 的因次關係

### 2. 導磁率與導電率：

在鐵磁性材料中，表面附近受磁化所產生之同向磁場強度隨著導磁率增加而增強，所以高導磁材料會有較強的磁通密度。

被加熱工件的導磁係數  $\mu$ （Permeability）：

非磁性物質  $\mu=1$ ，而磁性材料的  $\mu$  通常介於 10~100 間。

而在非鐵磁性材料中，其導電率的變化對渦電流影響很大。導體



表面及次表面處的渦電流強度要依導電率而定，高導電率者會感應較強的渦電流。

3. 被加熱工件與感應線圈之間的距離：

被加熱工件與感應線圈之間的距離越近，感應電流  $I$  越大，此乃因線圈的電流跟渦電流彼此間的磁力線耦合程度提升所致。

### 2-3-3 高週波感應加熱的特徵

1. 讓工件表面的溫度急速升高

高週波感應加熱是利用被加熱工件發生電阻熱和磁滯損失而產生熱量的現象，可在瞬間加熱工件的表面。

2. 被加熱工件本身產生熱能

因為趨膚效應，使得渦電流主要集中在工件外層，熱能的產生是由電阻熱和磁滯現象而來，工件和感應線圈並無接觸。

以上兩種特性是一般藉外部熱源傳導的普通加熱法在短時間內無法達到的。

3. 脫碳、氧化和變形的影響較小

因為熱能可在短時間內在需要加熱的部位集中加熱，不影響其他

部份，所以可以進行局部加熱，而且表面脫碳和氧化的現象大幅減小，扭曲變形的程度亦不嚴重。

#### 4. 必須設計適當的線圈

被加熱工件的外形會受到一定程度的限制，必須設計適當的線圈使用。感應線圈一般是圓筒狀，有必要時會打扁或加工成角形。

感應線圈和被加熱工件間間隙越小，加熱效率越高，但因被加熱工件會因為溫度升高而膨脹，所以要有適當的間隙，以避免發生接觸而傷到感應線圈及被加熱工件。

關於高週波表面硬化處理之研究，可從 H.B. Osborn 及 W.B. Kim 等人發表的文獻中[1, 9-10]，查詢到這一方面的研究報告。

### 2-3-4 高週波感應的三大效應

#### 1. 趨膚效應 (Skin effect)

電流是自由電子受電場影響造成漂移產生，電學中指出高頻交流電有朝向導體表面集中的趨勢。當電流為直流或低頻交流時，整個導體的自由電子均產生漂移，若為高頻交流電流，則僅導體表面的電子產生漂移，也就是被加熱工件上的渦電流向工件表面集中，這就稱為趨膚效應。

而且加熱深淺會隨著頻率的不同而有所改變，頻率越高，工件的加熱深度就越淺。若工件表面的感應電流密度為  $I_s$ ，則在工件內部  $x$  處的電流密度  $I_x$  為：

$$I_x = I_s \times e^{-x \cdot 2\pi \sqrt{\frac{f\mu}{\rho}}} \quad (2.3)$$

其中，  $f$ ：高週波頻率 (Hz)

$\mu$ ：相對導磁係數 (Relative permeability)

$\rho$ ：電阻係數 ( $\Omega \cdot m$ )

通常將

$$\frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{\rho}{f\mu}} \quad (2.4)$$

定義為電流穿透深度 (Penetration depth)  $\delta$ ，上式則可簡化成

$$I_x = I_s \times e^{-\frac{x}{\delta}} \quad (2.5)$$

方便查表計算其穿透值。由公式可知，相對導磁係數  $\mu$  和電阻係數  $\rho$  一定時，頻率  $f$  越高，電流穿透深度  $\delta$  越小，這表示頻率越高，電流越集中在表皮。通常均勻材料  $\rho$  值為溫度的函數，而  $\mu$  值大小與溫度亦相關。

## 2. 近接效應 (Coupling effect)

此為當感應線圈與被加熱工件的距離越小時，加熱的效率越好，能在

較短的時間內讓工件表面達到所需要的溫度。換言之，線圈與工件的距離越小，加熱所需的時間越短，熱量向內擴散的深度越淺，加熱深度也就越淺。加熱深度與電流穿透的深度並不一致，加熱深度是隨著加熱時間的增加與表面溫度之提高而加大，近接效應可由 Kretzmann 所導之加熱效率公式求得：

$$\eta = \frac{1}{1 + \frac{D^2}{d^2} (1 + 6.25 \frac{\delta^2}{d^2}) \times \sqrt{\frac{\rho_1}{\mu \rho_2}}} \quad (2.6)$$

其中： $D$ 、 $d$ 、 $\rho_1$ 、 $\rho_2$  分別為線圈及工件之直徑和電阻係數值。

### 3. 擴散效應 (Thermal diffusion effect)

加熱的時間越長，熱量由工件表面向內擴散的深度也越深。由趨膚效應可以知道，使用高週波的頻率越高，加熱深度越淺，所以對於無法改頻率的高週波加熱器，是可以利用此現象來使加熱深度增加。

## 2-4 工具鋼熱處理簡介

### 2-4-1 工具鋼淬火硬化

將鋼料加熱至變態點以上的高溫<sup>5</sup>，使其完全變為  $\gamma$  鐵固溶體（沃斯田鐵化），保持適當時間後令鋼材急速淬入水或其他冷卻劑當中，則可阻止  $A_{r1}$  變態<sup>6</sup>，並且固溶於  $\gamma$  鐵內的碳原子來不及析出，形成過飽和的固溶體，而得到高硬度的麻田散鐵組織，稱作淬火。

碳工具鋼淬火前的組織宜調整為球化組織或正常化組織，以免淬火變形或脆裂，故在升溫時採用兩段法較為合適，前緩後急，以消除內應力的影響，較不會產生加熱變形的現象。淬火溫度若過高或是淬火加熱時間過長時，沃斯田鐵晶粒會逐漸成長而變粗，淬火後雖然變為麻田散鐵組織，但其機械性質不良，甚至容易發生淬火裂痕。

碳工具鋼因為不含合金元素，所以硬化能很低，硬化深度較淺，淬火作業較為困難，加熱時避免氧化及脫碳現象，氧化會在工件表面形成氧化膜，而脫碳現象會造成工具鋼的硬度下降。

淬火時如果冷卻速率不夠快或是有冷卻中止（ $M_f$  溫度以上）的情形，

<sup>5</sup> 亞共析鋼  $A_{C3}$  線以上 30~50°C 之範圍，共析鋼與過共析鋼  $A_{C1}$  線以上 30~50°C 之範圍

<sup>6</sup> 沃斯田鐵轉化為波來鐵的變態



就會有一部分的沃斯田鐵殘留，不會完全變成麻田散鐵，這就是殘留沃斯田鐵（Retained austenite；RA）。殘留沃斯田鐵的量以及在熱處理過程中的變態通常會導致鋼料硬度不足、耐磨耗性降低及尺寸不安定等機械性質的不良影響。

對於工具鋼而言冷卻時文獻上指出通常使用水冷[2]，如此一來會得到較硬且深的硬化組織層。但使用水冷淬火時，對於較厚的處理工件，工具鋼在急遽降溫的過程當中，通常會導致工件淬火破裂或變形，故需做兩段式降溫，從變態溫度下降的初期段使用水冷淬火，而在  $M_s$  溫度略上方須從水中拉出，此溫度約為  $200^{\circ}\text{C}$ ，改為使用油冷或空冷。但若自水中的拉出時間過早，只有表面被冷卻，因工件本身沒有得到適當的降溫，如此一來會導致工件自生回火（Self tempering），工件的高溫區會傳熱給已形成的麻田散鐵，麻田散鐵轉變為回火麻田散鐵，導致硬度下降。

對一般零件而言，淬火後零件之最慢冷卻的部位，有 50% 麻田散鐵就被認為淬火成功。例如圖 2-12 中含碳量 0.55% 的中碳鋼棒淬火後，於中心部位的硬度經硬度試驗後，假若硬度有達到 50% 麻田散鐵<sup>7</sup>，就可視為此零件為成功淬火的零件。

---

<sup>7</sup> 於圖 2-12 中此硬度為 HRC 50

## 2-4-2 鋼的最高硬度

淬火鋼料的最高硬度，視碳含量多寡而定。雖然加入其他合金元素之鋼材如鉻、釩等可以增加鋼之硬化能，可得到較深的硬度，但是其最高的硬度度數，並無法超過相同含碳量的普通碳鋼最高硬度，此現象之實驗曲線見圖 2-11，其縱座標為洛氏硬度 HRC，橫坐標軸為碳含量，曲線上各點為各定量含碳量可能得到的最高硬度。所謂最高硬度是指鋼鐵材料內全部的碳於淬火前皆已熔於沃斯田鐵中，淬火時的冷卻速度在最低臨界速度之上，也就是冷卻曲線不與變態曲線相交，得到 100% 麻田散鐵組織。

於圖 2-11 中所標示的為碳鋼及合金鋼兩者試驗的結果，另含碳量相同時，所得到的最高硬度並無明顯差距，但淬火時間並不依定相同。在任何鋼料中，可得到之最高硬度為麻田散鐵之硬度，約在洛氏硬度 HRC 66 ~ 67 間，其含碳量須大於 0.60% 才能得到此結果。

## 2-4-3 二次淬火

在熱處理操作中有時採用二次淬火 (Double quenching)，即第一次用較高溫度的淬火，然後採用較低溫度的淬火、回火。二次淬火常應用於滲碳後的零件製程中，因為在表面的滲碳區通常存在有網狀滲碳體，這種網狀滲碳體常用兩種方法來消除：高溫正常化或高溫淬火。高溫正常化常用

在有效尺寸小的零件；對有效尺寸大的零件，正常化往往冷卻較為緩慢，無法消除表層的網狀滲碳體。因此就必須採用快速的淬火冷卻促使網狀滲碳體消除。但一次淬火通常不夠，會出現晶粒粗大的現象，必須再次淬火，以消除高溫淬火後出現的粗大的麻田散鐵。第二次淬火是正常狀態的淬火，目的是為了細化組織，獲得正常的麻田散鐵或細小針狀麻田散鐵。

在國內發表的文獻當中，對於無滲碳的工具鋼進行二次淬火也有相當顯著的效果，台大機械唐嘉祈於 2001 年發表之二次淬火可改良碳工具鋼的性質[3]與台大機械鄭佳祥於 2004 年在 SK4 工具鋼所製之車針上使用兩次淬火處理[11]，皆指出施以二次淬火後的工具鋼能夠有效的提高表面的硬度，並且同時保有內層的韌性。

國外的文獻中，也提到二次淬火可以增加工件的強度與使用壽命[19]，所以在本研究的實驗流程中，規畫加入二次淬火的處理程序。

#### 2-4-4 回火

經過淬火硬化的工具鋼料，其硬度高，脆性也高容易破裂，並不適合一般用途。回火（Tempering 或 Drawing）處理，則能使硬度及脆性兩者同時降低，以達到使用範圍之內。此種處理也降低了拉力強度，而增加了延性及韌性。回火作業的處理程序是將淬火後之鋼料加熱到臨界溫度下方，

然後以任何冷卻速度冷至常溫。雖然回火可軟化鋼料，但不同於退火，因為回火可嚴格控制鋼料之機械性質，以滿足使用上之需要，而大多數的情況，都不至於軟化到如退火的程度。

全硬化鋼的回火組織稱之為回火麻田散鐵。而工具鋼的理想組織是在回火麻田散鐵基地內均勻分布細微的碳化物，這樣的組織可以兼顧硬度、韌性及耐磨耗的要求。

回火之所以能得到各種變化性質的作用，完全是由於麻田散鐵的不穩定所致，麻田散鐵或殘留沃斯田鐵，常溫時是不安定的組織，會有從不安定的狀態轉為安定狀態<sup>8</sup>的趨勢。在室溫時，原子的擴散速率極慢，需要很長的時間才能達到安定的狀態；因此在施以回火處理時，隨著溫度上升，原子的擴散速率也跟著增加，能加快不安定的殘留沃斯田鐵和麻田散鐵組織趨向安定狀態的速度，導致組織的改變[2]。

碳鋼在 400°C 以下的回火，通常可分為三個階段：

回火第一過程： $\alpha$ -Martensite  $\rightarrow$   $\beta$ -Martensite +  $\epsilon$ -Carbide，當麻田散鐵內所固溶的碳大於 0.3% 時就會發生第一過程的變化。此過程約介於 100~200°C 之間，鋼料回火於此溫度範圍，從其體心正方麻田散鐵 (Tetragonal

---

<sup>8</sup> 肥粒鐵和 Fe<sub>3</sub>C 的混和組織



martensite ; Primary martensite ;  $\alpha$ -Martensite) 之次晶界不連續析出六方晶系  $\epsilon$  碳化物 (Hexagonal  $\epsilon$ -Carbide,  $\text{Fe}_2\text{C} \sim \text{Fe}_{2.4}\text{C}$ ) [20-23], 而漸漸變成立方麻田散鐵 (Cubic martensite ;  $\beta$ -Martensite) , 即晶格常數  $c/a$  比值漸漸下降, 而且  $\beta$ -Martensite 含碳量漸漸降至 0.25% 左右[21-22]。又回火溫度尚未達到發生回火第三過程之前, 從基地的  $\beta$ -Martensite 會繼續析出  $\epsilon$  碳化物, 並且碳化物粒子會變大。 $\epsilon$  碳化物是麻田散鐵和殘留沃斯田鐵發生分解時所生成的過渡形態碳化物, 不會以安定的狀態存在於鋼內。在這階段殘留沃斯田鐵的量不會改變。在 150~205°C 回火時, 對於硬度的減低及其他性質的改變, 並無顯著的影響, 主要的目的是為了解除因急冷淬火時所殘留之內應力及應變。

回火第二過程： $\text{RA} \rightarrow \beta\text{-Martensite} + \epsilon\text{-Carbide}$ 。此過程發生於 230~270°C 之間, 但若淬火組織中沒有殘留沃斯田鐵 (RA) 時, 則不會發生這種變化。當鋼料回火於此溫度範圍, RA 在加熱、保溫及冷卻各階段均發生變態。RA 於此溫度範圍內保溫或冷卻時, 將依 S-曲線 (S-Curve) 變態 [24-25], 變態成變韌鐵 (Bainite)、波來鐵 (Pearlite) 等組織。此外 RA 變態量受加熱速率及保溫時間的影響; 如果加熱速率慢、保溫時間長, 則 RA 變態量多。

RA 在此階段於加熱及保溫期間會釋放出碳擴散到周圍的  $\beta$ -Martensite



內[20, 22]，使 RA 的  $M_S$  溫度提高[22, 26]，故在回火冷卻過程中變態成變韌鐵（Secondary bainite）及麻田散鐵（Secondary martensite）。前者變態可因冷卻速度快而被抑制，後者則否。RA 變態量不一定隨回火溫度提高而連續增加，須視鋼料 S-Curve 而定。

鋼鐵回火於此階段，體積增加，且殘留沃斯田鐵變態速率受碳在沃斯田鐵內之擴散速率所支配

回火第三過程： $\beta$ -Martensite +  $\varepsilon$ -Carbide  $\rightarrow$   $\alpha$ -Fe +  $Fe_3C$ 。此反應發生於 270~400°C 之間。在此過程的初期階段， $\varepsilon$  碳化物經由另一中間相  $\chi$  碳化物轉移為雪明碳鐵（Cementite,  $Fe_3C$ ）。當溫度升高時麻田散鐵即以較高的速度分解。到達 313°C 時，分解為回火麻田散鐵的速度急增，回火作用可視為雪明碳鐵之沉澱及凝聚或結合，主要的沉澱作用開始於此溫度以上，鋼之硬度即降低。而在第一、第二過程中所形成的  $\beta$ -Martensite，會把碳以  $Fe_3C$  的形態放出，而使基地的碳漸漸接近於平衡狀態的 0.02% 以下。繼續升高溫度回火時，使碳化鐵的結合增加，在初期階段以微細狀態分散的  $Fe_3C$  會逐漸凝聚成長為較大的粒子。 $Fe_3C$  凝集粗化後，因其數目減少，粒子間隔增大，致使硬度和強度降低。但硬度下降並不代表衝擊值就增加，此乃因為此階段回火時， $Fe_3C$  析出成長條狀於  $\beta$ -Martensite 之板條介面（Lath boundary）[22-23, 27]及氮化物析出於晶界（Grain boundary）[27]，

造成低溫回火脆性。

當淬火碳鋼回火到 400°C 左右時，會變為安定平衡相的組織。一般而言，回火到 400~500°C 所得到的肥粒鐵和極微細 Fe<sub>3</sub>C 的回火組織叫做回火吐粒散鐵 (Tempered troostite)，而回火到 600°C 左右所得的肥粒鐵和較粗的 Fe<sub>3</sub>C 的混合組織叫做回火糙斑鐵 (Tempered sorbite)，或者把這些回火組織都稱為回火麻田散鐵 (Tempered martensite) [2]。

一般而言，合金元素大多有阻止回火效應的作用，因此合金工具鋼回火的溫度略高於普通碳工具鋼。

## 2-5 磨耗簡介

### 2-5-1 刀具材料

切削過程中，切屑與刀具、刀具與工件接觸介面間的摩擦，會使刀具產生磨耗，而且有時刀具還要承受高壓及高溫的環境，而影響切削工作及工件之精度及表面品質，所以刀具的材料是非常重要的一環，刀具材料應具備以下之性能：



### 1. 常溫硬度（Cold hardness）：

硬度為刀具耐磨性之判定基準，硬度越高通常耐磨性則越大，但韌性則越低。切削時刀具能切入工件材料是因具有足夠之硬度所致。當刀具與工件接觸而摩擦時，刀具不因而即刻磨耗，是因其硬度高於工件材料，且黏著性（Adhesion）低，於是能避免刀具發生局部熔著（Welding）及擴散（Diffusion）之現象，能使刀具合理的切削加工。

### 2. 韌性（Toughness）：

韌性係材料對其衝擊之抵抗能力，刀具對合金剛等抗拉強度較大之材料施行重切削或施行間歇性的切削時，刀刃常遭受到甚大之衝擊力，因此刀具材料須具有抗壓及抗彎應力，才不致在受力時發生斷裂情形。

### 3. 赤熱硬度（Red hardness）：

刀具在高速切削或重切削時將產生高溫，致使刀刃變成紅色，但刀具仍須具有甚高之硬度以維持刀刃之穩定性，而不減低其切削能力。但在本研究中，因為鋸片本身的工作溫度並不會達到高溫，故本項的材料性質不列入考慮範圍。

## 2-5-2 工具磨耗

工具之磨耗由多種要因之綜合而引起，其呈現方式亦複雜。

圖 2-13 所示，主要原因如下：

### 1. 黏著磨耗 (Adhesion wear)

被切削物之壓著物脫離刀口部時，同時帶走部分刀口部之磨耗

### 2. 磨擦磨耗 (Abrasion wear)

摩擦式磨耗是由於工件材料中硬組成物所致，切屑物中因有堅硬粒子，固流經刀面時，因摩擦作用，一部分的刀具材料便會被磨去

### 3. 擴散磨耗 (Diffusion wear)

刀具與工件間之化學交互作用所致，刀具及被切削物間之擴散合金化，工具變脆而導致磨耗，為一種化學磨耗

### 4. 氧化磨耗 (Corrosive wear)

若以高速度從事切削工作時，產生的高切削溫度，刀具將在此一溫度中產生氧化作用，致使刀具磨耗，為一種化學磨耗，

### 5. 疲勞磨耗 (Fatigue wear)

工具刀口部之機械變形造成的疲勞磨耗

以上 5 種原因所引起之磨耗，因切削速度不同，其進行情況則有很大差異。工具的壽命是由工具刀口部之磨耗定量地所掌握，而用於被切削物之被切削性及工具之性能評估上，亦是決定作業標準之重要資料之一。

在 1906 年時，Fredarick W. Taylor 報告指出，達到標準之磨耗量淨時間  $T$  ( $min$ ) 及此時之切削速度  $V$  ( $m/min$ ) 間有下列關係式存在：

$$V T^n = C \quad (\text{泰勒壽命方程式}) \quad (2.7)$$

其中  $C$  為依工具及被切削物之材質、切削條件、進刀量及進刀等所決定之常數，工具壽命相當於 1 分鐘時之切削速度。 $n$  為依工具及被切削物之材質所決定之常數，此壽命方程式可以繪製圖 2-14 所示之壽命曲線[28]。

工具磨損的位置通常有兩個，分為切刀下方的刀腹磨耗，以及在切刀後方的刀面磨耗，請參閱圖 2-15。

#### 1. 刀腹磨耗 (Flank wear)：

工具與工作物主體摩擦之面，位於後鋒線處，有一小刀鋒背 (Flank) 會被磨損，其磨耗產生原因為，已加工面和刀腹接觸面間之摩擦而形成。磨損結果產生一段小平面，自齒頂向後伸延到某一距離，使原有材料被磨失。過多的刀腹磨耗，會產生切刃變形，餘隙角變小，導致摩擦阻抗增加，磨耗速度也會急速加快，因而使得其他磨耗型



態產生或甚多刀口破裂，嚴重時可能使刀柄受損。一般來說，刀腹磨耗量可由測量磨耗刀背（Wear land）的寬度做決定，在圖 2-15 中為  $b$  的位置，對碳化物工具而言，若寬度達到 0.030 inch (0.76 mm) [29]，則可認定此工具已失效，也就是說工具壽命已終了。刀腹磨耗約與切削面平行，其磨耗寬度常用顯微鏡來量測作為判斷磨耗程度的標準。

## 2. 刀面磨耗（Crater wear）

在工具刀鋒後側若干距離的表面上，呈現一個小穴疤（Crater），在圖 2-15 中為  $l$  的位置， $h_c$  為凹穴深度，稱之為凹陷磨耗（Crater wear）。此穴疤是由於滑過刀鋸表面之切屑的摩擦行為所造成。刀具刀口後面短距離內開始，由於切屑通過時與刀面產生摩擦作用，高熱流動的切屑在刀面上侵蝕出一凹槽，一般稱之為切削凹陷

（Cratering），切削凹痕是由於工件材料與刀具間的熔接與擦傷作用（Galling）所引起。切削工件材料時若切削速度較低時，則切削總熱量大部分傳導到工件材料，此時由於刀具之溫度尚低，切屑流經刀面摩擦產生的熱將傳導至刀具。若切削速度增高時，由於切屑流經刀面摩擦產生的熱及刀刀與加工面摩擦產生的熱增加，刀具溫度超過切屑之臨界溫度，使剪切面之熱量幾乎留存在切屑中，並且

切屑之流動快速，使切屑與刀面摩擦增加，則兩者溫度相對提高，經由切屑導出之熱量亦隨之增加，因此切屑內大部分熱量流經接觸面時溫度升高使刀具及切屑均產生原子的擴散，形成兩者的合金，因而降低刀具材料熔點及減弱硬度，使刀具材料被切屑帶走形成凹陷磨耗或稱焊疤。

### 2-5-3 木工鋸齒磨耗

文獻上提及的切削理論中，通常以金屬做為切削的研究對象，對於刀具與被切削物軟硬程度差異較大的材質，如金屬刀鋸切削木材或塑膠等工件探討較少。

Nordström 與 Bergström 在 2001 年發表木工用鋸齒的磨耗測試[30]，文中提及木材是一種不等方向性的材質，切削力受到木材的含水率影響很大，木材的纖維飽和點（Fiber saturation point，簡稱 FSP）約略接近木材濕度 30%，在此點以下木材的機械性質，如硬度、韌性和彈性會因為水份減少而增加；此點之上木材的機械性質較不會因水份增加而改變。

在 Nordström 與 Bergström 的實驗中，計算鋸齒磨耗的方法為量測尖端的磨耗範圍的 Edge degrading (ED) 與 Edge recession (ER) 來作評估，請見圖 2-16。而於 Comprehensive workshop technology[31]一書中也有提

及到此種磨耗的成因，較為接近上節中所提及的磨擦磨耗，因工件與刀具間的相對速度較慢，鋸屑為不定期、不連續的出現，當鋸屑成長至可被觀察到的尺寸時，就會脫離刀尖並且對刀具尖點處進行不平均的破壞，其磨耗形態請見圖 2-17。

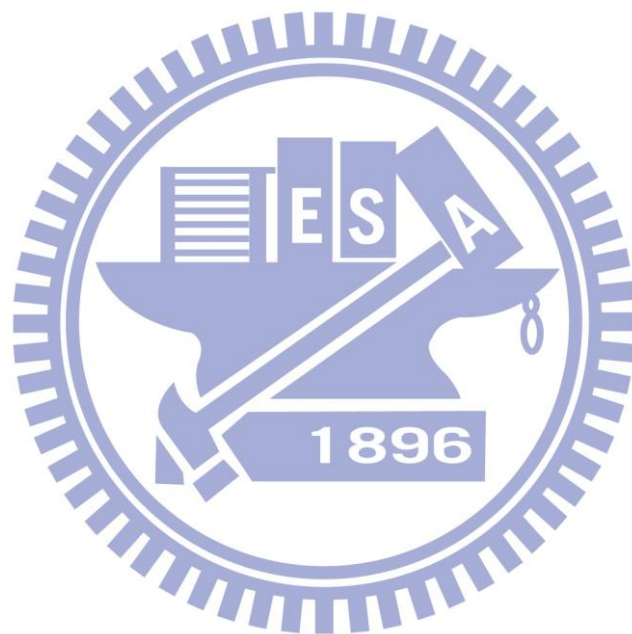


表 2-1 市售木工用鋸的種類及特性










名稱	圖片	特點及用途	鋸齒特性
手鋸 (Hand Saws/ Tool box Saws)		常見於歐美地區使用，鋸片寬度及長度較大	推鋸
雙面鋸 (Double Edge Saws)		雙面均為鋸齒，分別為粗齒、細齒，常見於日本地區使用	拉鋸
日本鋸 (Japanese Pull Saws)		特色為頭大尾小，是日本地區常用之手鋸	拉鋸
線鋸 (Coping Saws)		特別適用於曲線或是不規則形狀之鋸切使用	與一般手鋸不同，是由細鐵絲上加工出魚鱗狀鋸齒
弓鋸 (Hacksaws)		鋸條長度通常較一般手鋸為長	推鋸或為雙刀鋸
鑲邊鋸 (Tenon Saws/ Back saws)		鋸身背處有背條防止鋸片變形，用於精細之鋸切加工使用	推鋸
彎鋸 (Curve Pruning Saws)		鋸齒排列為弧形非直線形，偏重於鋸切圓木	拉鋸
栓孔鋸 (Keyhole Saws/ Compass Saws)		鋸圓孔時使用，鋸片寬度較小	推鋸
摺合鋸 (Folding Saws)		一般木工裝潢及園藝修剪使用	拉鋸或為雙刀鋸

表 2-2 鋸齒依照施力方向分類

名稱	施力方向	特性
拉鋸	拉	在使用者手臂往後拉時，鋸齒會有最佳的鋸切效率
推鋸	推	在使用者手臂往前推時，鋸齒會有最佳的鋸切效率
雙刃鋸	拉與推	使用者手臂無論往前推或後拉，鋸齒皆會有鋸切效果，但是依造齒形設計不同，除非對稱，否則必有一邊鋸切效率較高

表 2-3 縱切鋸與橫截鋸的比較

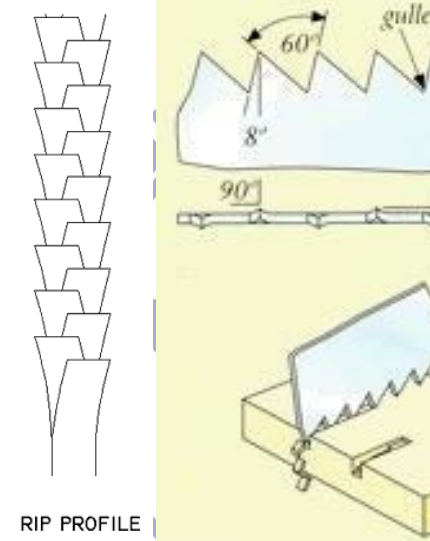
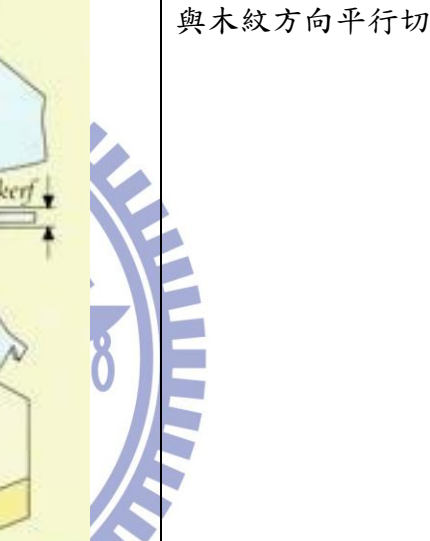

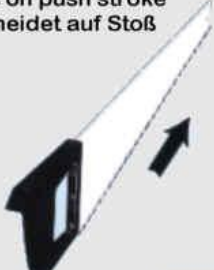




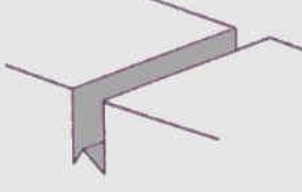
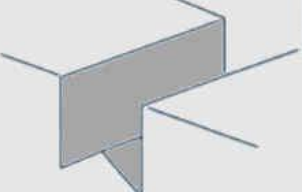


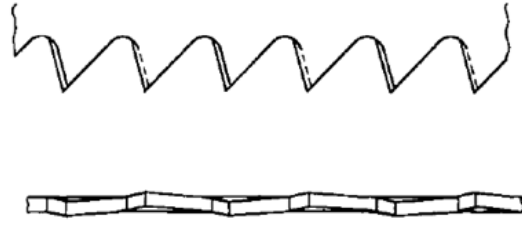
名稱	鋸齒圖樣	與木紋方向
縱切鋸	 <p>RIP PROFILE</p>	與木紋方向平行切割
橫截鋸	 <p>CROSS-CUT PROFILE</p>	與木紋方向垂直切割，亦可與木紋方向成任何夾角切割

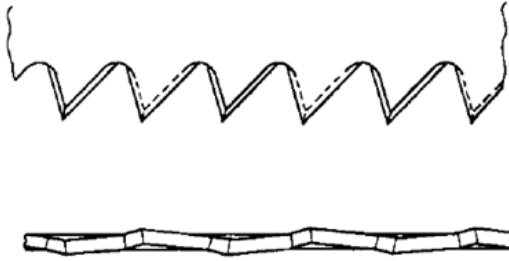


表 2-4 日本鋸與西洋鋸之比較

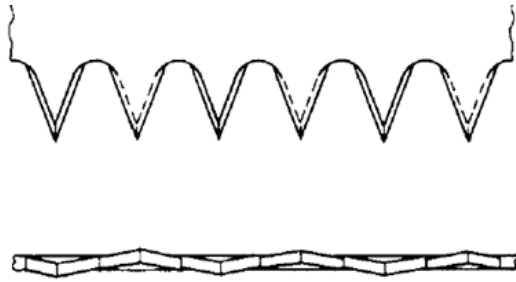
Japanese Saw	Western Type Saw
<p>cuts on pull stroke schneidet auf Zug</p> 	<p>cuts on push stroke schneidet auf Stoß</p> 
<p>tension makes blade straight die Zugspannung hält das Blatt gerade</p> 	<p>compression causes binding and buckling Druck kann zur Verbiegung des Blattes führen</p> 
<p>pull stroke allows thin blade sägen auf Zug benötigt nur ein dünnes Blatt</p> 	<p>push stroke needs thick blade sägen auf Stoß erfordert ein dickes Blatt</p> 
<p>narrow kerf - less effort wenig Zerspanung - weniger Arbeit</p> 	<p>wide kerf - more friction viel Zerspanung - viel Arbeit</p> 
<p>smooth, fast, easy and accurate cuts schnelle und saubere Schnitte</p> 	<p>rough and slow cuts langsame und rauhe Schnitte</p> 



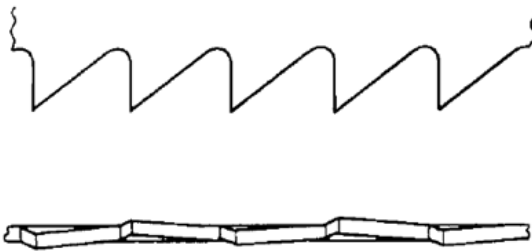
Universal teeth — half cross sharpened



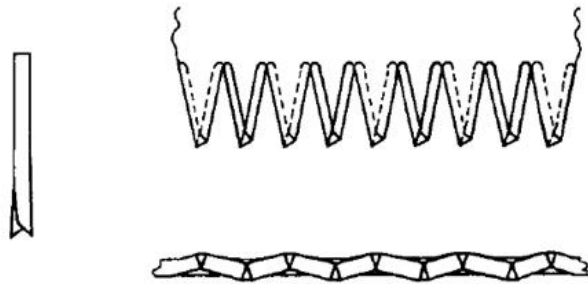
Universal teeth — full cross sharpened



Fleam teeth



Rip saw teeth — Straight sharpened

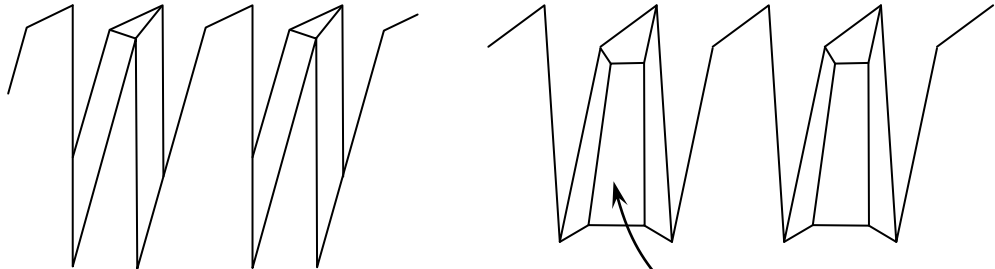


Compound teeth

圖 2-1 BSI 分類的 Tooth forms and sharpening[13]

# JAPANESE-SAW TEETH

## Typical Japanese crosscut-tooth patterns



Crosscut teeth usually have three bevels

Sometimes a fourth bevel is used.

## Western crosscut-tooth patterns



圖 2-2 日本鋸與西洋鋸的鋸齒比較圖[15]

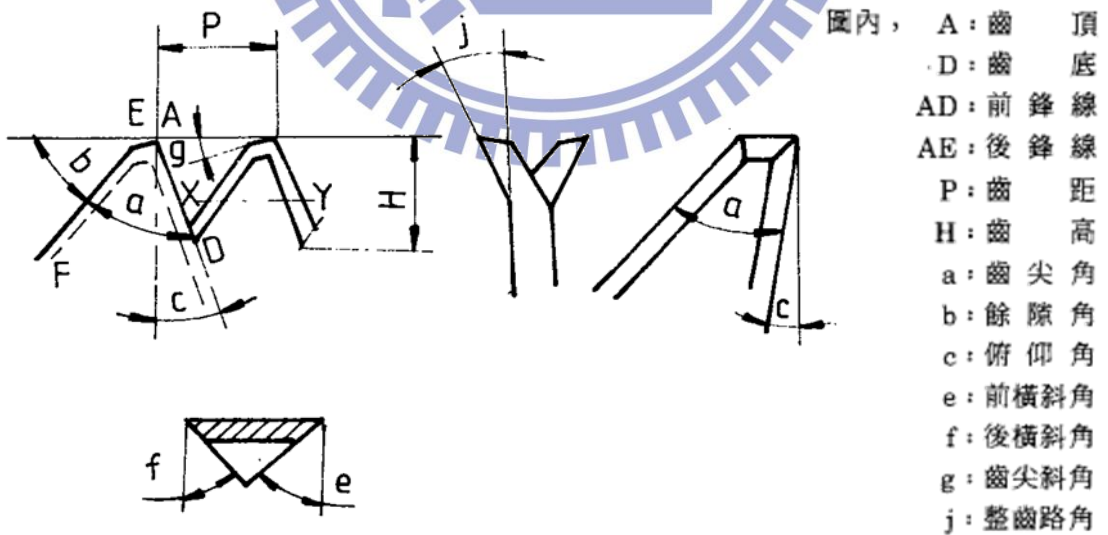


圖 2-3 CNS 1096 中之鋸齒各部位稱呼法[18]

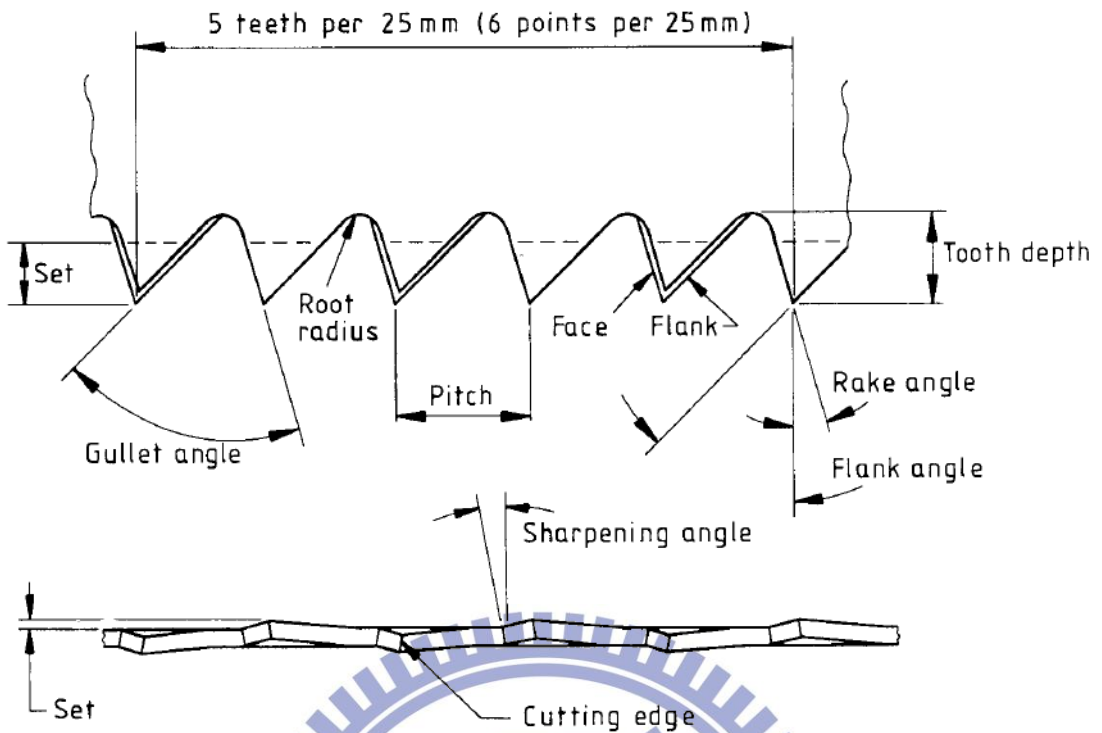


圖 2-4 BS 3159-1 中之鋸齒各部位稱呼法[13]

其餘中文名稱  
參照 CNS 1096  
標準規範稱之

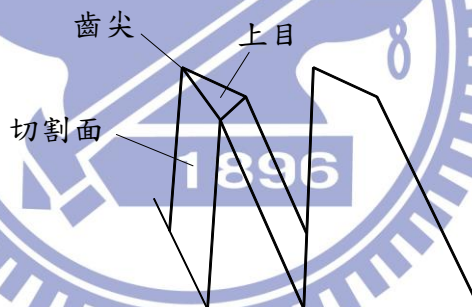


圖 2-5 其餘鋸齒部位的中文名稱

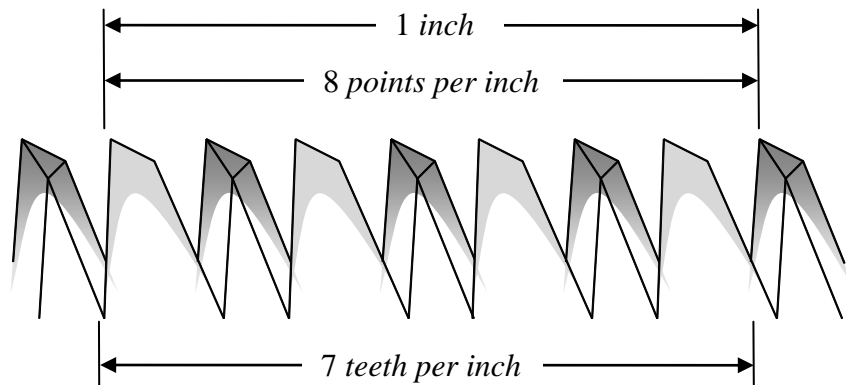


圖 2-6 鋸齒齒數算法與表示法



圖 2-7 感應加熱線圈、空氣吹嘴與鋸齒位置感應器

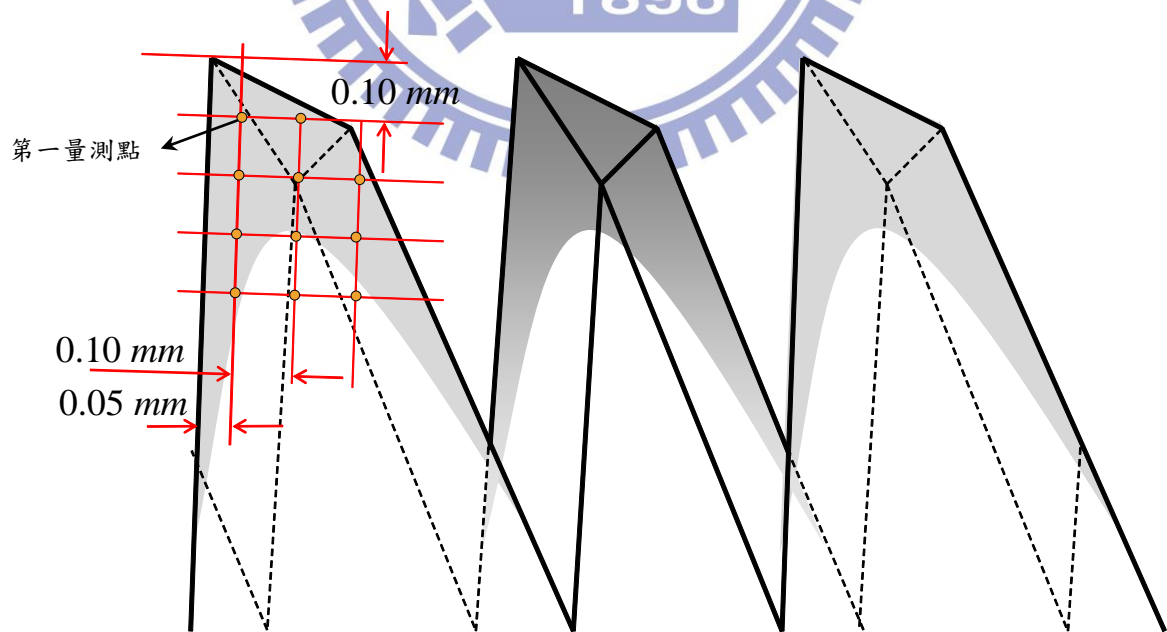


圖 2-8 脈衝感應熱處理黑暈示意及硬度量測點



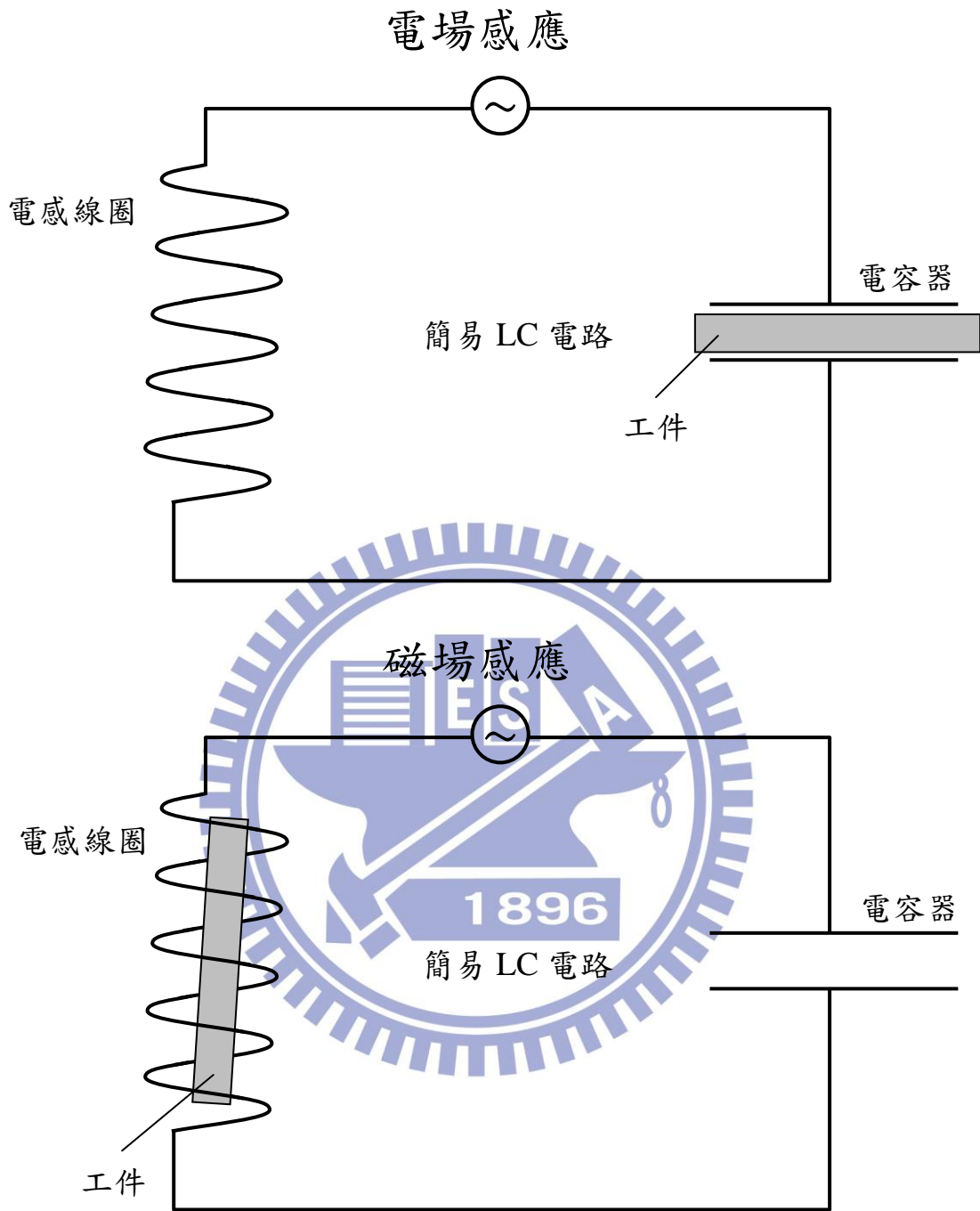


圖 2-9 電場感應與磁場感應之示意簡圖

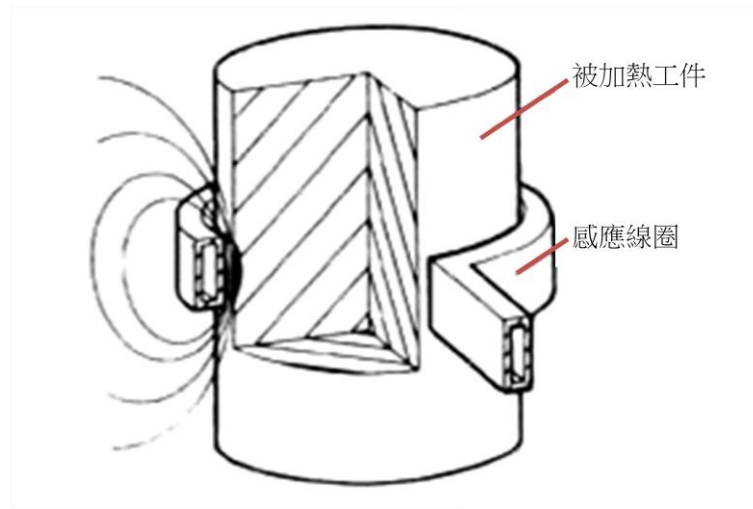


圖 2-10 電場感應加熱原理示意簡圖

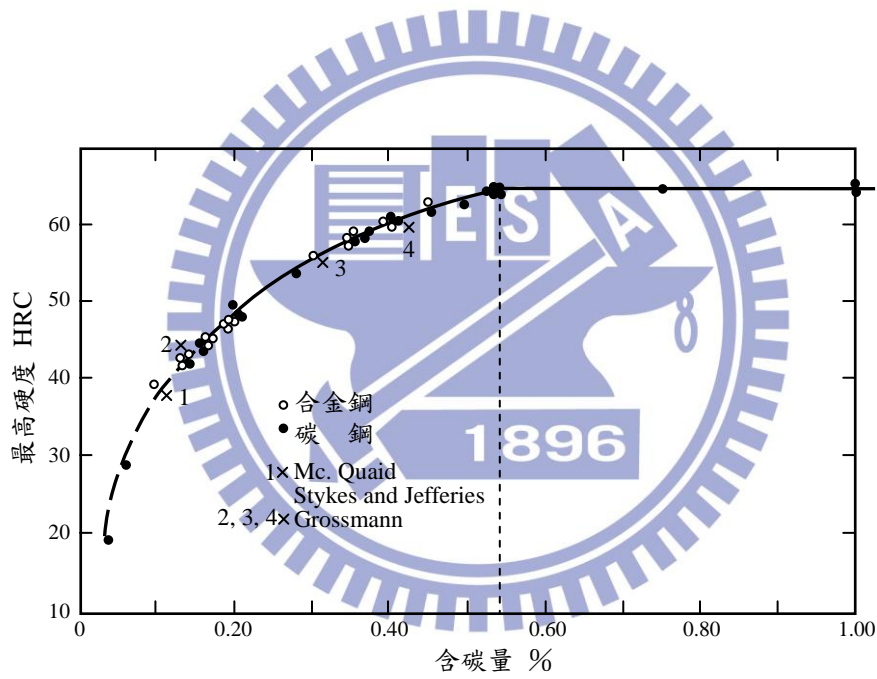


圖 2-11 最高硬度以及含碳量之關係[29]

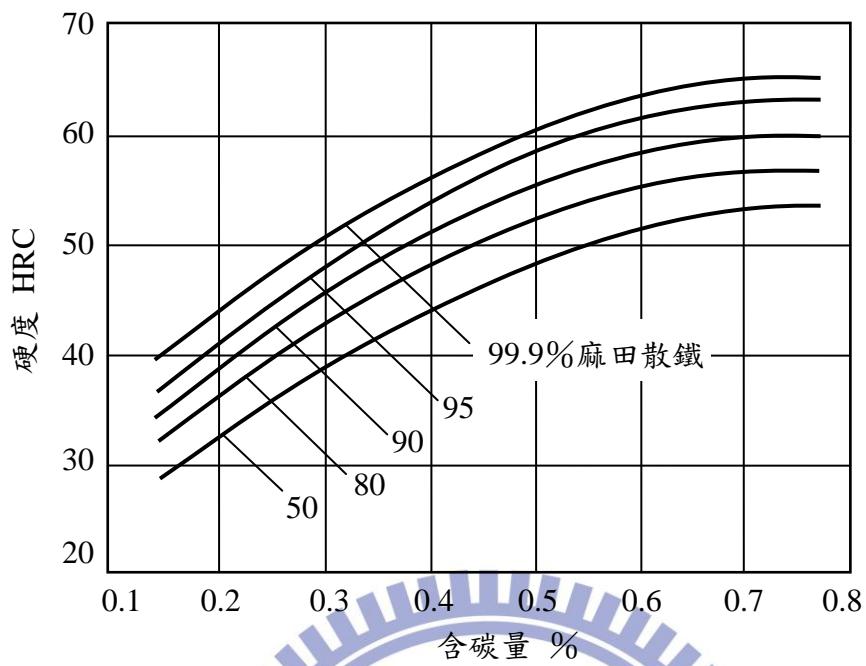


圖 2-12 碳鋼之含碳量—麻田散鐵量—硬度三者關係圖[2]

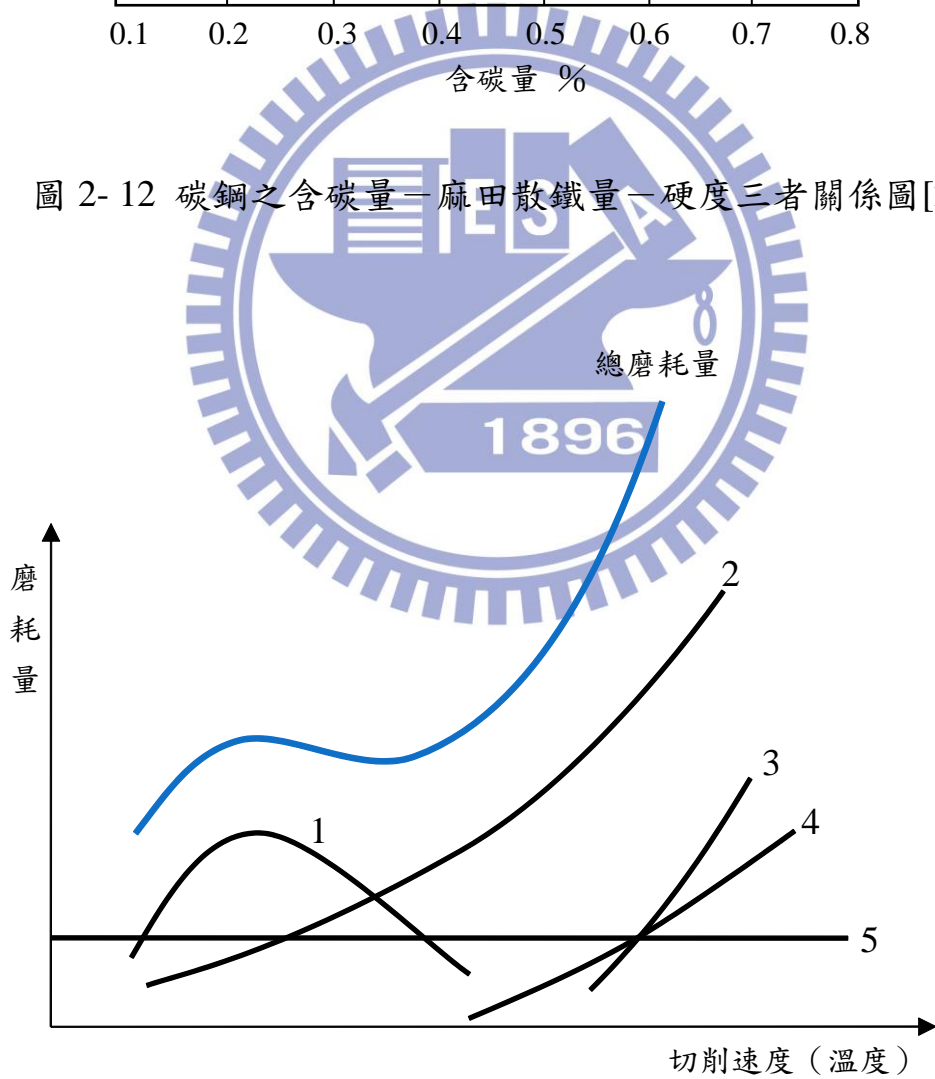
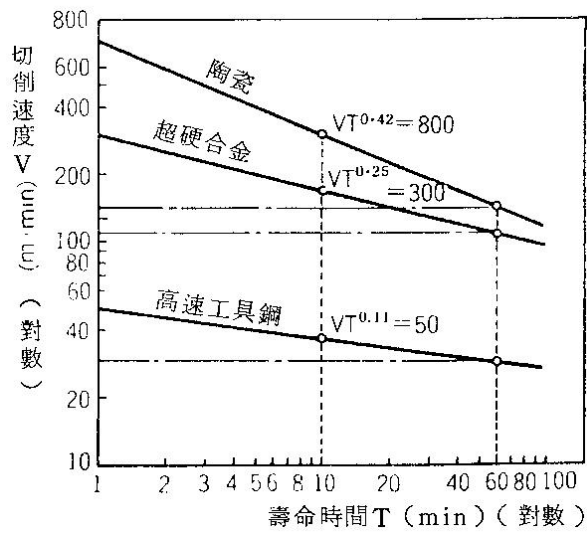


圖 2-13 工具磨耗之多種要因圖[28]



工具材種	n
高速工具鋼	0.11
超硬合金	0.2 ~ 0.3
陶瓷	0.25 ~ 0.5

圖 2-14 各種工具之 VT 壽命曲線與 n 值[28]

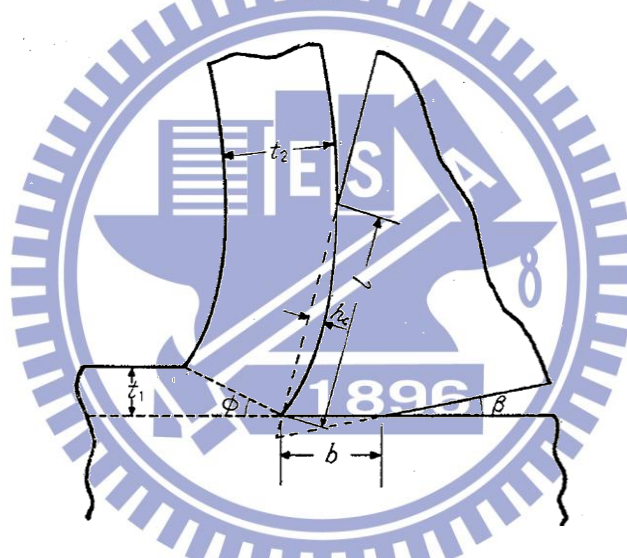


圖 2-15 切削工具磨耗的位置[32]

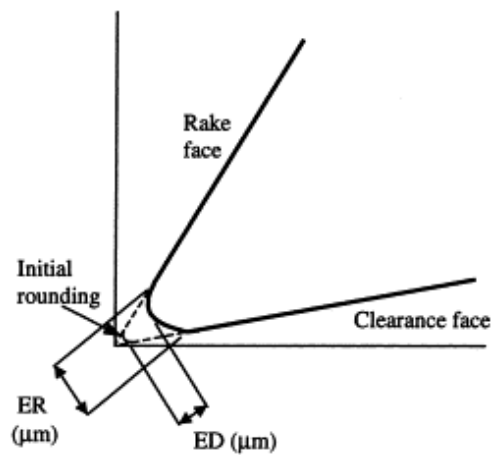


圖 2-16 鋸齒磨耗的量測 (ED 與 ER) [30]

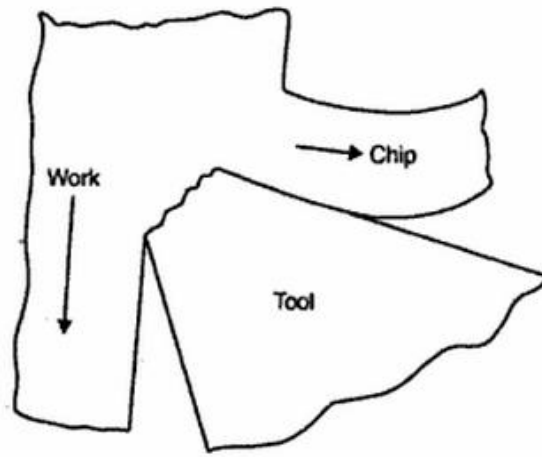
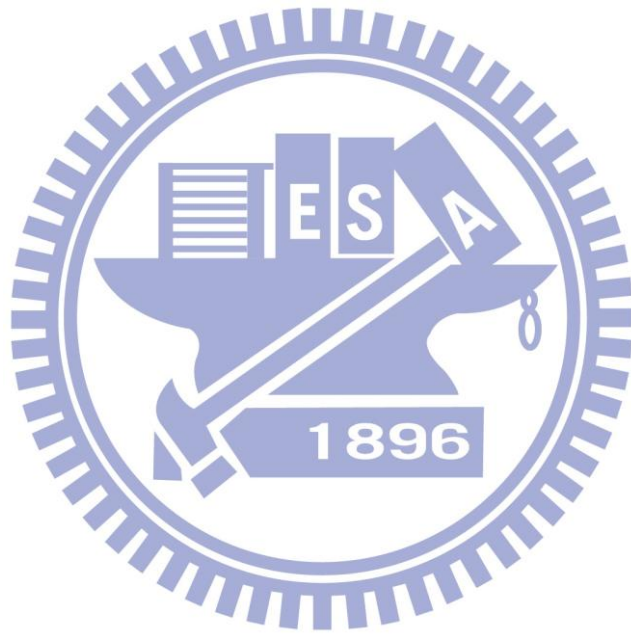


圖 2- 17 磨擦磨耗 (Adhesion wear) 的型態[31]





## 第三章 實驗設備與程序

本研究的重點有兩部分，第一個部分為利用脈衝式感應加熱方法，做鋸齒部位的熱處理，並與其他鋸齒做硬度、金相與磨耗上的比較。第二個部分為改變目前鋸片後續熱處理的方法，看能否更加硬化鋸片的尖端處，並且讓鋸片的使用壽命增加。

### 3-1 實驗方法

實驗流程如圖 3-1 所示。鋸片準備完成後，即進入感應熱處理的程序，其詳細情形在之前的 2-2-2 鋸齒熱處理一節中已說明過，在此不再贅述。完成後的實驗試片將與 Shark Saw 鋸片進行硬度、金相與磨耗測試的比較。

第二階段為改變後熱處理的方法，高週波感應淬火完成的鋸片，再進行以下的熱處理步驟，為低溫回火與兩次淬火再低溫回火法[3]，完成後的實驗試片將與僅高週波感應淬火的試片進行硬度、金相與磨耗測試，比較是否有可能增加碳工具鋼之機械性質。

### 3-2 試片材料與規格

本實驗所使用的鋸身規格是由安用工業股份公司 (TRT) 所生產之鋸片，型號為 J1530-3E06，為長 300 mm (11 ¾ inch) 14 Tpi 的日本式木工鋸片，材質採用日本住友金屬工業所生產的 SK5 工具鋼帶，由台灣宏樹鋼鐵進行正常化熱處理。

經由日本住友於和歌山製鐵所所提供的 SK5 鋼捲的檢查報告書中，有測量其鋼材之機械性質與成分分析，請參見表 3-1。

與本研究中所試驗之試片作為對照所採用的鋸片為美國 Shark Corporation 在日本所製造的 Shark Pullsaw 鋸片，型號為 No.10-2312，長為 304.8 mm (12 inch) 14 Tpi，外觀請參見圖 3-2，材質在鋸片之簡介上寫採用高碳彈簧鋼所製作。

鋸片本身當中，鋸齒外形影響鋸切效果非常的顯著，故在本試驗當中，以 Shark Saw 生產之鋸齒外型做為標準，製作相似外觀的鋸片，以減少因為外型影響之鋸切結果，量測過後的 Shark Saw 之鋸齒外型與製作後的實驗用鋸齒形狀繪製成工程圖，請參見圖 3-3。

### 3-3 實驗設備

#### 3-3-1 感應熱處理機

感應熱處理機使用日本 Pearl Kogyo 公司出產之脈衝式感應加熱機，型號為 CF-5000-27M，配給 220V 電源，50Hz/60Hz 均可適用，最高輸出功率為 5kW，產生的高週波電流頻率為 27.12MHz，見圖 3-4，脈衝電頻率範圍可手動調整，目前設定為 20kHz。

感應線圈安裝的注意事項：

1. 感應線圈之間必須互相平行而不能觸碰，必須保持乾燥，嚴禁水氣和雜質沾附於線圈上，否則容易導致短路而當機。
2. 感應線圈需依實際加熱工件適當的製作，並在不觸碰工件下，盡量靠近，使加熱時間縮短，如果加熱時間過長，會因冷卻能力不足造成加熱機自動關閉或是線圈融毀。

冷卻水裝置使用 Orion 公司出產之 Unit Cooler，型號為 RKS250F-S，見圖 3-5。

冷卻水供應注意事項：

1. 由冷卻機流入感應線圈之流水，會因高週波加熱而吸附極高之熱能，而使水溫急劇升高，所以適當的水流壓力和水流量必須同時

注意，如壓力不足，高週波加熱機自動關閉，但若水流量不足，感應線圈易融毀。

2. 冷卻水溫在高週波加熱機未使用前以保持室溫為宜，如以冰水冷卻，常因水溫低於室溫而使內部附著水珠而損毀機器。

自動輸送裝置由日本中屋（Nakaya）公司所組裝，分別有送料端（圖 3-6）、輸送段（圖 3-7）以及收料端（圖 3-8）。整體機械設備總成，包含感應熱處理機與自動運輸裝置，請見圖 3-9。

後續的熱處理使用可程式控制之熱處理爐，為詠欣製造之 CMF 60 型，其加熱功率為 10 kW，最高調控溫度可達 1200°C，如圖 3-10 所示。

### 3-3-2 測驗儀器與材料

#### 1. 鑲埋機：

因試片取樣大小差距，實驗中使用兩種不同尺寸的金相鑲埋機，較小尺寸的鑲埋使用台灣中澤公司生產的 TNM-32A 鑲埋機，鑲埋直徑為 32 mm，設備請見圖 3-11；大尺寸鑲埋使用丹麥 Struers 公司生產型號為 LaboPress-3 的鑲埋機，鑲埋直徑為 1 ½ inch (38.1 mm)，設備請見圖 3-12。

## 2. 拋光機：

使用美國 Buehler 公司生產之 MetaServ 2000（見圖 3-13）與德國 Wirtz-Buehler 公司生產之 Phoenix Beta 拋光機（見圖 3-14），搭配不同點數之砂紙進行試片磨平與拋光的步驟。

## 3. Micro-Vickers 硬度試驗機：

為檢測鋸齒部位的硬度值，使用日本未來科技（Future-Tech）公司出產型號為 FM-700 之 Micro-Vickers 硬度試驗機進行量測，硬度荷重可以調整為 10、25、50、100、200、300、500、1000 gf，在本研究中使用 300 gf 進行硬度的量測，測量硬度在鋸齒上的分布情形，設備請見圖 3-15。

## 4. 光學顯微鏡及照相系統：

為德國卡爾蔡司（Carl Zeiss）所生產的 Axioskop 40 光學顯微鏡，最高放大倍率為 1000 倍，請見圖 3-16，可於金相試驗中使用，以及最後測定鋸齒尖端磨耗退縮程度。

## 5. 往復式鋸切機組：

使用德國博世（BOSCH）出產的軍刀鋸（Sabre Saw）型號為 GSA900E，請參見圖 3-17，此機型的輸出功率可達 900 W，往復次數可手動調整於 0~2700 rpm 間，此鋸切機鋸片的往復距離為 28 mm，將實驗磨



耗測試鋸片固定於機台上，進行多次的切削。

為避免影響在實驗中的熱處理結果，將鋸片固定於往復式軍刀鋸之原本鋸片上時，將不採用鑽孔鉚接或是焊接固定法，在試驗中使用 3M 公司所生產之液狀瞬間接著劑進行常溫下的膠合。

#### 6. 木材：

被切削標準木材根據文獻鋸片磨耗[30]提及選用松木 (Pinewood) 進行切削。所選用的松木柱斷面為  $90 \times 36 \text{ mm}$ ，能夠確保往復式鋸切機在鋸削的過程中，欲觀察之鋸齒持續移動於木材之中鋸切，並切連續切削 11 次時之鋸切移動長度為  $990 \text{ mm}$ ，約近於  $1 \text{ m}$ ，在圖表繪製上較容易理解。

### 3-4 實驗步驟

本研究實驗主要分為四部分，分別如下：

#### 3-4-1 高週波淬火對照組

鋸齒成型後的試片，經過實驗所需的感應熱處理標準流程製作，作為對照組試片，之後做試片取樣鑲埋與壽命測試當為對照數據。

與實驗試片作為對照的另一組試片，採用 Shark Pullsaw 鋸片，與實驗試片相同，進行取樣鑲埋與壽命測試。

### 3-4-2 高週波淬火後進行回火熱處理

將齒間高週波淬火後的鋸片做回火處理，因文獻上[2]指出碳工具鋼採用低溫回火後可得到硬度和韌性配合的最理想狀態，原因是工具鋼的理想組織是在回火麻田散鐵內均勻分布細微的碳化物，故採用麻田散鐵會分解為回火麻田散鐵和  $\epsilon$  碳化物的回火第一階段之  $150\sim 200^{\circ}\text{C}$ ，因回火到  $300^{\circ}\text{C}$  以上時硬度會急速下降，在  $250^{\circ}\text{C}$  時會發生低溫回火脆性，所以回火溫度範圍控制在  $150\sim 200^{\circ}\text{C}$  間。

做此實驗步驟後雖然會得到工具鋼較推薦的硬度和韌性搭配，但表面殘留應力消失造成硬度降低，所以對於鋸片的壽命影響要實際檢測才能得知。

### 3-4-3 高週波淬火後進行二次淬火熱處理

經過感應加熱後的鋸齒，再燒結爐中加熱至  $800^{\circ}\text{C}$  後進行水淬火，在工具鋼的熱處理中建議採用水淬火，並在特定溫度需做拉出處理，不過在本研究當中，因為使用的鋼料為薄板材，溫度的平衡時間相當快速，故並無作拉出處理。

但因為淬火的過程中對於薄板材料會造成淬火變形，在試驗當中也曾

使用夾具將試片夾持進行淬火，但因夾具本身有保溫的效果，對於淬火速率有一定的影響，並且淬火後的鋼片仍然產生淬火變形，故在後續的實驗當中嘗試以縮短在爐內的持溫時間，找出二次淬火的最佳參數。

#### 3-4-4 高週波淬火後進行二次淬火再回火熱處理

此實驗之理論基礎為台大機械唐嘉祈於 2001 年所發表之二次淬火可改良碳工具鋼的性質[3]，台大機械鄭佳祥於 2004 年在 SK4 工具鋼所製之車針上使用兩次淬火處理[11]，皆指出施以兩次淬火回火的工具鋼能夠有效的提高表面的硬度，並且同時保有內層的韌性，故列入實驗當中。

#### 3-5 實驗後處理與結果分析

實驗處理完的鋸片因為觀察的鋸齒部位，相對於鋸片本身相當小，所以會利用鑲埋機進行取樣鑲埋的動作。取樣的要點在於試片要以剪斷方式取出，不能用砂輪片磨斷的方式，原因在於磨斷會造成試片升溫，影響試片之熱處理結果。

### 3-5-1 高週波淬火硬化深度評估

硬化層深度會受到加熱冷卻條件、加工材料的淬火性所影響，高週波硬化層的量測有以下兩種表示方法[33]。

#### 1. 全硬化深度

將高週波淬火過後的成品切開，將斷面以 3%~10% 的稀硝酸溶液浸蝕，以光學顯微鏡測量稀硝酸溶液腐蝕出的黑色範圍，為全硬化深度，亦稱為整體硬化層。

#### 2. 有效硬化深度

為全硬化層內形成 50% 麻田散鐵組織範圍稱為有效硬化深度，50% 麻田散鐵是指，相對於表層部的完全麻田散鐵硬度稍低的組織，性質類似於回火麻田散鐵，但是完全麻田散鐵組織與 50% 麻田散鐵組織很難以顯微鏡金相試驗上分辨，通常使用維氏、顯微維氏硬度依序測量，才能得知其範圍，由於每種鋼材的含碳量不同，故要以查表法才能判定是否為 50% 麻田散鐵組織。

以上兩種評估硬化深度的範圍，請見圖 3-18。

### 3-5-2 硬度量測

硬度測試的試片準備步驟如下：

從感應熱後之鋸片上取下鋸齒的部位，將此部分平躺鑲埋在電木內，以便測試硬度和後續的金相觀察。

依序使用 240、400、600、800、1200、2000 號碳化矽砂紙將鑲埋好的試片研磨，使用研磨機時，轉速控制在 250 rpm 以下，並用清水沖洗磨屑。

之後使用 1.0  $\mu\text{m}$  氧化鋁粉於專用之拋光布面上進行拋光。

硬度試片製作完成後，以 Micro-Vickers 硬度試驗機量測由接近齒頂處至靠近鋸身部的硬度分布，量測時，需考量壓痕大小及硬化層硬度、厚度，選用適當荷重，於本實驗中選用荷重 300 gf。

Vickers 硬度值計算公式如下：

$$HV = \frac{P}{A} = \frac{2P \sin \frac{\theta}{2}}{d^2} = 1.8544 \frac{P}{d^2} \quad (3.1)$$

其中： $HV$ ：Vickers 硬度值 ( $\text{kgf}/\text{mm}^2$ )

$P$ ：施加荷重 ( $\text{kgf}$ )

$A$ ：壓痕表面積 ( $\text{mm}^2$ )



$d$ ：壓痕對角線長度 ( $mm$ )

$\theta$ ：壓痕器相對兩面的夾角 ( $136^\circ$ )

測量 Micro-Vickers 硬度分布時一般間隔為  $0.10\text{ mm}$ 。

於本研究中鋸齒的量測水平基準線對齊鋸齒前鋒線，切割面朝向上方，齒頂朝向右側，第一基準點距離前鋒線垂直距離  $0.05\text{ mm}$ ，距離齒頂  $0.10\text{ mm}$ ，之後向鋸身、後鋒線方向，每間隔  $0.10\text{ mm}$  作為一量測點，其量測點簡圖請參見圖 2-8。

本研究想要達到的理想狀態為使鋸齒齒尖與鋒線處測得的硬度最硬，逐次向鋸身的地方遞減，如此一來在進行切削的時候，表面較不易磨損，並且在靠近鋸身的部分有較高的韌性，讓鋸齒的壽命增加，並讓導致崩齒的因素降至最低。

### 3-5-3 金相試驗

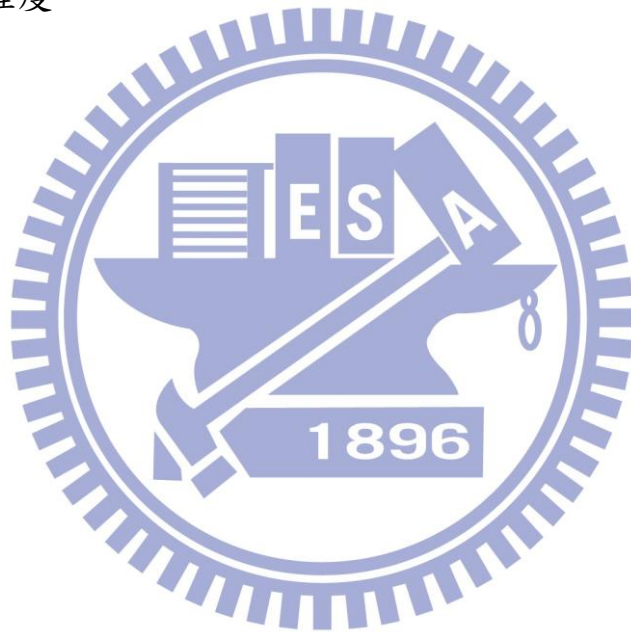
將鑲埋好的鋸齒部位試片於研磨機上進行研磨，最後使用  $1.0\ \mu\text{m}$  氧化鋁粉於拋光布面上進行拋光處理，隨後使用 3% Nital 腐蝕液<sup>1</sup>進行腐蝕，腐蝕適當時間後，以大量清水沖洗試片，再以乙醇清潔表面並風乾，其後使用光學顯微鏡觀察其金相組織。

---

<sup>1</sup> 3%硝酸與 97%乙醇

### 3-5-4 鋸片磨耗測試

所以在測驗實施過高週波感應加熱後的鋸片，將會固定至往復式鋸切機上，請見圖 3- 19，再磨耗測試進行的過程中，每垂直切割完 99 mm 的松木後，利用光學顯微鏡機將齒頂部位放大 50 倍與 500 倍，拍攝照片的並利用後製軟體來將鋸齒外觀拼接出來，藉由顯微鏡照片上的刻度標尺來評估鋸齒磨耗的程度。





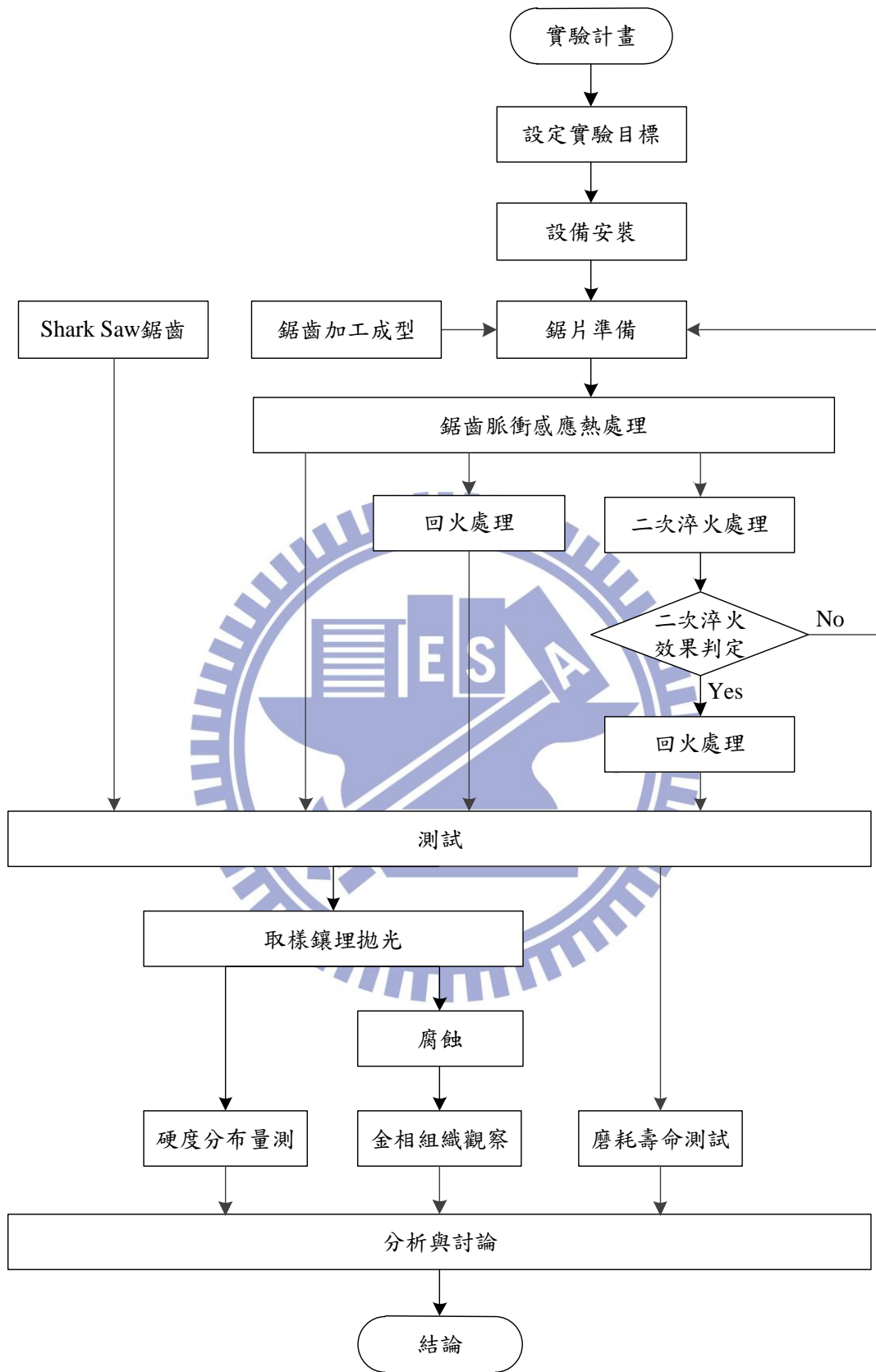
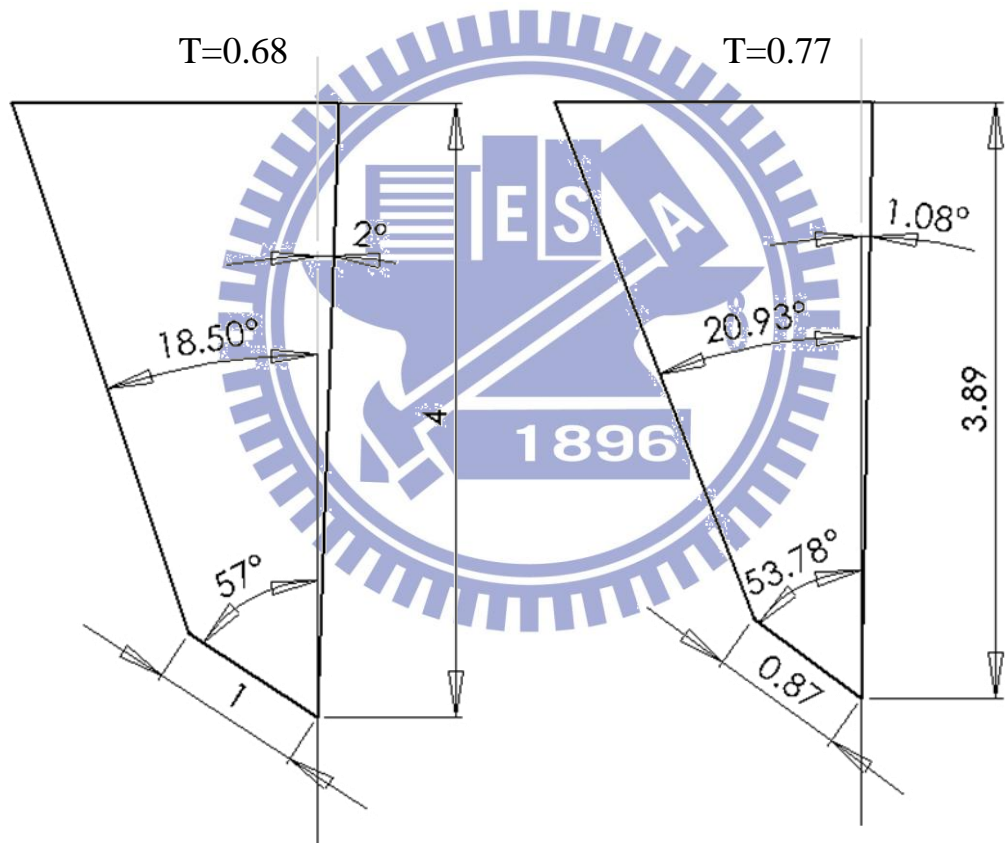


圖 3-1 實驗流程圖



圖 3-2 Shark Pullsaw 鋸子外觀



實驗用鋸齒尺寸

單位：*mm*

Shark Saw 鋸齒尺寸

單位：*mm*

圖 3-3 實驗用與 Shark Saw 鋸齒尺寸圖





圖 3-4 脈衝式感應加熱機



圖 3-5 冷卻水裝置

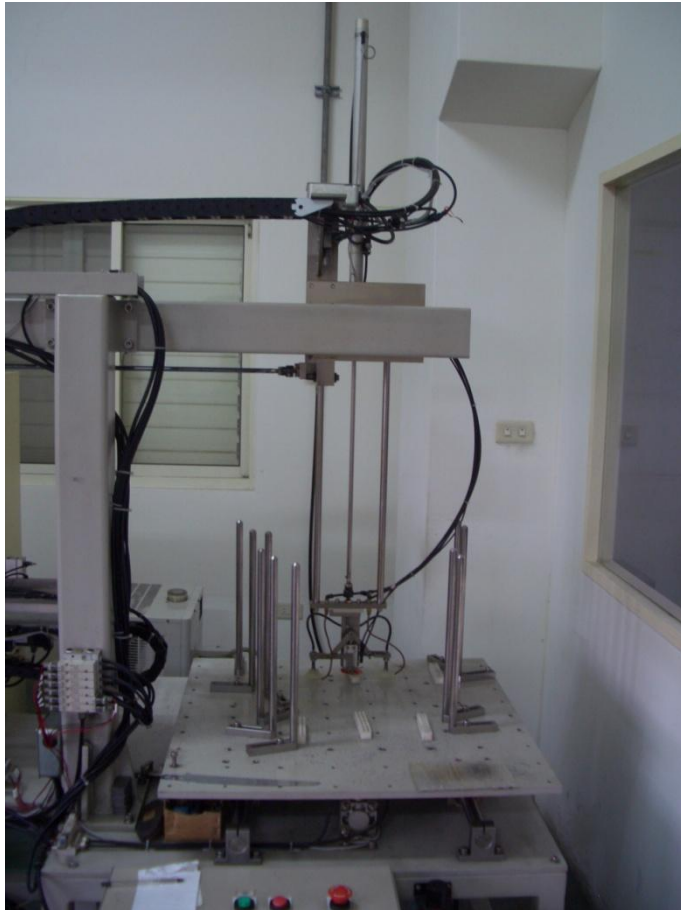


圖 3-6 自動輸送裝置送料端

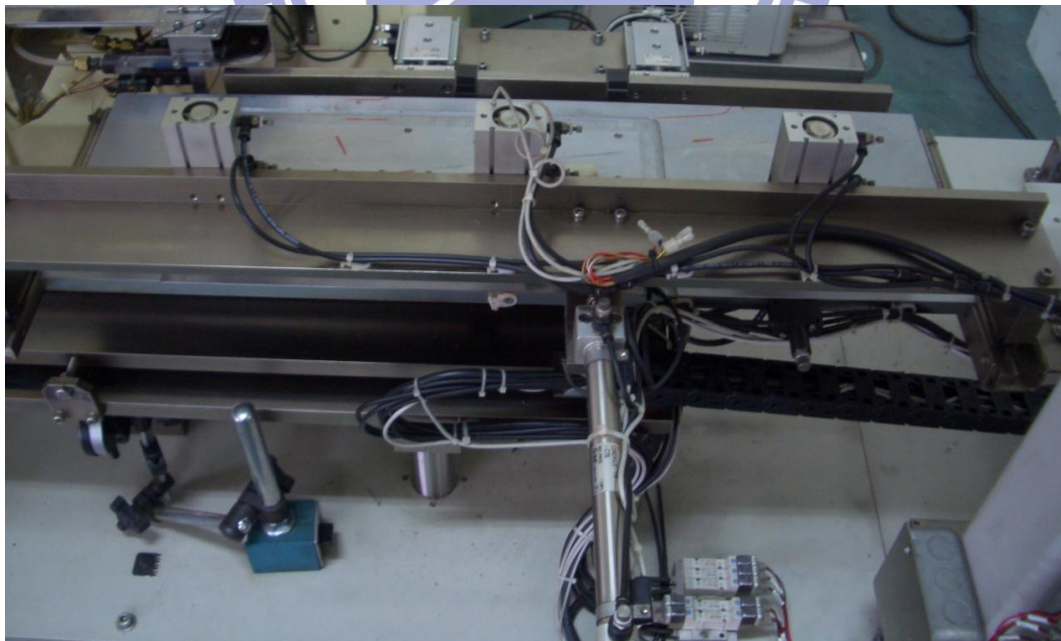


圖 3-7 自動輸送裝置輸送段



圖 3-8 自動輸送裝置收料端



圖 3-9 感應熱處理機與自動運輸裝置總成





圖 3-10 可程式控制之熱處理爐



圖 3-11 熱鑲埋機



圖 3- 12 熱鑲埋機



圖 3- 13 研磨機





圖 3-14 研磨拋光機



圖 3-15 顯微維氏硬度試驗機



圖 3-16 光學金相顯微鏡



圖 3-17 軍刀具組

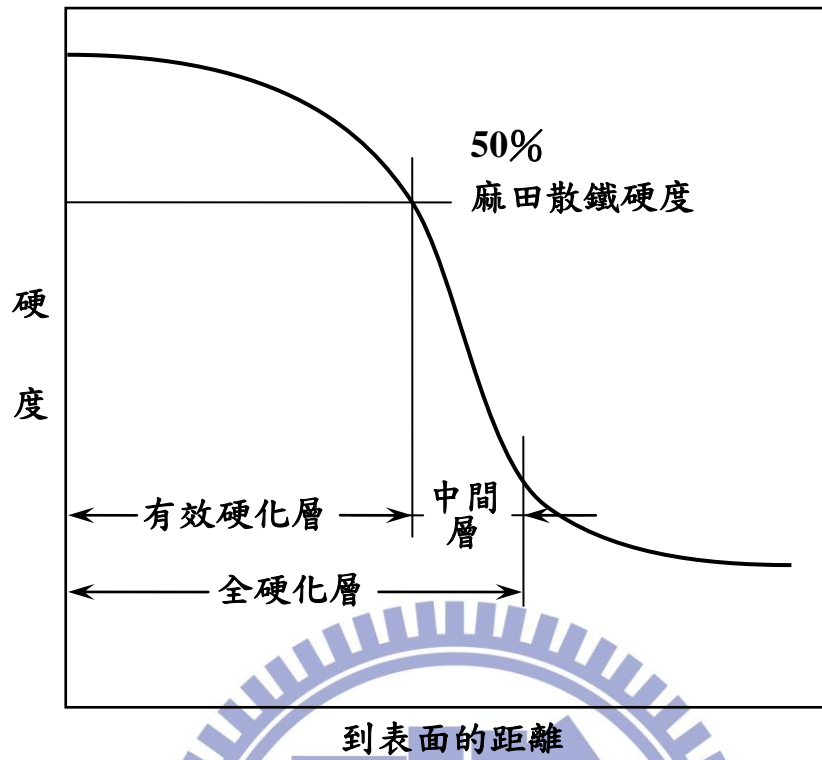


圖 3-18 硬化層深度的表示[34]



圖 3-19 磨耗試驗鋸片與松木位置



## 第四章 結果與討論

本研究所得結果可分為硬度、金相組織與磨耗試驗，茲分述如下：

### 4-1 脈衝式感應熱處理後試片外觀

經過脈衝式感應加熱後的試片，在試片表面會留下衝風淬火產生的黑暈區，藉由量測黑暈的範圍，大致可以看出感應加熱的範圍大小。

圖 4-1 中為實驗用試片經過脈衝式感應加熱後，經由取樣鑲埋以光學顯微鏡所拍攝的照片拼接後得到的全鋸齒照片，在照片上可以明顯的看出黑暈分布的範圍，在接近鋸齒周邊的位置，因為鋼材在此區較薄，分布的範圍較大，位於鋸齒切割面上的黑暈分布範圍距離齒頂長度為  $3.02\text{ mm}$ ，位於背側處的黑暈長度距離齒頂為  $3.05\text{ mm}$ ，黑暈分布距離齒頂最近的距離為  $2.36\text{ mm}$ 。

圖 4-2 中為市面上可購得之 Shark Saw 鋸片，經由取樣鑲埋以光學顯微鏡所拍攝的照片拼接後得到的 Shark Saw 全鋸齒照片，位於鋸齒切割面上的黑暈分布範圍距離齒頂長度為  $2.04\text{ mm}$ ，位於背側處的黑暈長度距離齒頂為  $2.37\text{ mm}$ ，黑暈分布距離齒頂最近的距離為  $1.00\text{ mm}$ 。

比較兩照片上的黑暈分布範圍可明顯的看出，本實驗所使用的測試鋸片黑暈分布範圍較比較用的 Shark Saw 鋸片分布範圍來的大。

## 4-2 硬度分布

### 4-2-1 實驗試片施以高週波淬火後硬度分布

由 Micro-Vickers 硬度試驗機量測後的結果，發現經過脈衝式感應熱處理的區域有較高的硬度值，詳細測量值見附表 1，表中齒頂的部位置於圖表的右上角，右下側以粗格線分隔的空白處為鋸身之外無法量測的部位，另一在鋸身內的粗黑格線分隔硬度達到 50% 麻田散鐵的區域，本工具鋼的含碳量為 0.85%，依查表得知 50% 麻田散鐵的硬度為 53 HRC，約為 560 HV，其高度分布的圖形化結果見圖 4-3。前鋒線邊緣處的硬度約為 760 HV，在弧形區域往齒頂的方向達到硬度 860 HV，弧形的區域有明顯的硬度下降情形，在弧形後方的硬度下降至 450 HV，之後緩升為 490 HV。疊合感應加熱黑暈區域的圖片見圖 4-5，可明顯發現高硬度值的範圍約佔黑暈區  $\frac{1}{3}$ ，而接近邊緣處會增加，而在黑暈區內的非高硬度區，皆無超過硬度 500 HV，此區域硬度值較低的原因，推測是由於對於鋸齒齒尖處進行高週波熱處理後，有熱量由齒尖的部位傳遞過來，但在溫度的提昇方面並沒有達到沃斯田鐵化溫度的情況下，造成了退火的效果，故硬度降至 450 HV 左右，與齒身的硬度平均值大約相差 50 HV 左右。

在 Shark Saw 的鋸齒部位量測硬度之時發現，若與本實驗以相同採樣



點作量測，硬度機壓出的壓痕在接近邊緣處有相當的變形，並非菱形的形狀，故第一量測點與前鋒線的距離由原本的 0.05 mm 增加為 0.10 mm，距離齒頂從原本 0.10 mm 增加為 0.15 mm，此時壓痕的變形程度就沒有原本的劇烈。而 Shark Saw 與本研究的試片硬度結果有相當的差異，反而在鋸身的部分有較高的硬度值，約為 560 HV，相對而言齒尖的部位來的較軟，僅有 350 HV 左右，詳細硬度分布測量請見附表 2，硬度高度分布圖請見。另外也製作疊合感應加熱黑暈區域的圖片見圖 4-6。

#### 4-2-2 施以高週波淬火及回火後硬度分布

實驗試片進行 150°C 回火 30 分鐘後空冷的試片進行硬度量測後，其前鋒線的硬度平均值為 810 HV，較原試片來的硬一些，在弧形區域往齒頂的方向達到硬度 850 HV，略比原試片的弧形區域下降，弧形後方的硬度值與原試片相比差異不大，但是較靠近鋸身區域的硬度值上升為 510 HV，詳細測量值見附表 3，以高度分布的圖形化結果見圖 4-9。

實驗試片進行 200°C 回火 30 分鐘後空冷的試片進行硬度量測後，其前鋒線的硬度平均值為 720 HV，在弧形區域往齒頂的方向硬度為 760 HV，弧形後方的硬度值為 430 HV，較靠近鋸身區域的硬度值為 520 HV，詳細測量值見附表 4，以高度分布的圖形化結果見圖 4-11。

實驗試片進行 250°C 回火 30 分鐘後空冷的試片進行硬度量測，其前鋒線的硬度平均值為 650 HV，在弧形區域往齒頂的方向硬度為 730 HV，弧形後方的硬度值為 460 HV，較靠近鋸身區域的硬度值為 510 HV，詳細測量值見附表 5，以硬度分布的圖形化結果見圖 4-13。

將鋸齒的部位分作齒頂區、前鋒線區、弧狀區、弧狀區後方以及齒身區，繪製硬度與回火溫度的圖 4-15 中發現而將鋸片回火 150°C 持溫 30 分鐘空冷後的前鋒線區域，硬度有明顯的上升，推測應為在進行高週波感應加熱淬火之時，因為表面與尖端的部分接觸較多的空氣，導致溫度未能升高至與弧狀區域相同，有些許的硬度降；另一因素為表層的脫碳現象，因為接觸空氣，表層的碳原子與外界的氧氣結合形成二氧化碳散溢，也是無法提升硬度的原因之一。在爐內進行 150°C 回火時，幫助了內部的碳向外擴散，使得在前鋒線上的硬度值上升。

#### 4-2-3 施以高週波淬火及二次淬火後硬度分布

施以高週波淬火後的試片經過加熱爐加熱至 800°C 後迅速的以冷水作淬火處理，其中分為兩種實驗過程，其一為改變在爐內的加熱時間，水冷時做全鋸片淬火，第二為僅有齒尖的部位做淬火處理，水面的上方的鋸身部位為空氣冷卻。

改變在加熱爐內的時間中，因為研究的鋸片厚度僅有 0.68 mm，在工業上的爐內的持溫時間公式為

$$\tau = KD \quad (4.1)$$

其中  $\tau$  為時間 (min)， $K$  為一常數，對於工具鋼而言通常為 1.0~2.0 (min/mm)， $D$  為工件厚度 (mm)。使用此公式計算，可以得到在爐內的持溫時間為 40.8~81.6 sec (0.68~1.36 min)，故在爐內的時間分別施作 15 秒、30 秒、1 分、2 分、3 分與 30 分試片做比較對照。其量測結果表請參見附表 6 至附表 10。

於 800°C 爐內持溫 15 秒進行水冷淬火後的試片硬度高度圖形分布結果請參見，其變化較多的部分為鋸齒前端的弧狀範圍，產生了相當的硬度降，平均為 550 HV。而 800°C 爐內持溫 30 秒進行水淬火後，硬度高度圖形分布結果請參見圖 4-18，前方的弧狀區域幾乎消失，齒頂的部位反而較齒身的部位硬度來的低。

800°C 爐內持溫一分鐘後進行水淬火，硬度高度圖形分布結果請參見圖 4-20，此時硬度急遽升高，鋸身的部分硬度為 910 HV，齒頂的部位硬度值為 850 HV。而 800°C 爐內持溫兩分鐘後進行水淬火，硬度高度圖形分布結果請參見圖 4-22。800°C 爐內持溫 30 分鐘後進行水淬火，硬度高度圖形分布結果請參見圖 4-24，而鋸身的部分有部分的硬度值達到 1000 HV。

其中將二次淬火後的試片，分為齒頂部位與齒身部位來做比較，齒頂部位取齒尖處的 4 點做平均硬度值，距離齒頂的距離約為 0.2 mm；齒身部位取距離齒頂處約 1.5 mm 的中心部位，取 16 點所得出的平均硬度值，繪成圖表於圖 4-26，其中橫坐標為對數時間，縱坐標為 HV 硬度值，原試片的硬度值置於 0.1 秒處，可以明顯發現在爐中前 30 秒，齒頂部位的硬度降低來的比鋸身的位置快，而在 30 秒~1 分鐘的持溫時間內，硬度急遽的升高，據推測應是工具鋼材內的組織轉變為沃斯田鐵，而在爐內持溫 2 分鐘後淬火，齒尖的硬度值超越鋸身處，爐內持溫時間 3 分鐘淬火後的硬度值，鋸身與齒尖處的硬度相當，之後鋸身處的硬度值緩慢上升超越齒尖處。

#### 4-2-2 施以高週波淬火及二次淬火後再回火後硬度分布

800°C 爐內持溫 30 分鐘後進行水淬火後於爐內分別進行 150°C、200°C、250°C 回火，硬度量測值請見附表 11 至附表 13，硬度高度圖形分布結果請參見圖 4-27 至圖 4-31，將試片分為齒頂部位與齒身部位做比較，繪製成圖 4-33 硬度與回火溫度的變化圖，可發現如同僅施作回火的變化，硬度於 150 至 200°C 硬度降較多，200 至 250°C 硬度降較為趨緩的曲線圖。



## 4-3 金相組織

### 4-3-1 實驗試片施以高週波淬火後不同區域之金相組織

經過高週波感應熱處理後的試片，經由稀硝酸溶液浸蝕後，於光學顯微鏡之下拍攝拼接而成的鋸齒圖請見圖 4- 34，可以明顯的發現在外側較為明亮的弧狀範圍，此區域與硬度較高值的區域幾乎重合。由硬度與圖 4- 35 的 C.C.T.圖中來觀察，明亮的弧型區域內中的最高硬度達到 888 HV，由於高週波感應熱處理時使用衝風淬火，冷卻速度並無法將所有的沃斯田鐵轉變為麻田散鐵組織，由 C.C.T.圖中得知經過高週波感應熱處理此區域的組成應為麻田散鐵與波來鐵的混和組織，並且有殘留沃斯田鐵的成分存在，齒尖部位的金相照片請見圖 4- 36(a)，其中可觀察到粒狀的碳化物 ( $\text{Fe}_3\text{C}$ ) 散佈於組織中。

原本的 SK5 鋼材為經控制軋延 (Controlled rolling) 成形的鋼卷，其組織為變韌鐵為主，組織圖請見圖 4- 36(d)。在鋸齒明亮邊緣處有一個連續的漸變過程。而於圖 4- 36(b)與圖 4- 36(c)中可以觀察到變韌鐵組織由照片的右側至左側分布的差異。

對於 Shark Saw 的鋸齒金相試驗當中，經由稀硝酸溶液浸蝕後，於光學顯微鏡之下拍攝拼接而成的鋸齒圖請見圖 4- 37，亮處的分布與實驗的試



片有明顯的差距，在前鋒線的下緣處有較明亮的邊緣，此處放大 1000 倍的拍攝照片請見圖 4- 38(b)與圖 4- 38(c)。

鋸身處的組織放大 1000 倍時的照片請見圖 4- 38(d)，可發現有鱗狀的石墨分布於其中。

#### 4-3-2 施以高週波淬火及回火後之金相組織

以 150°C 回火 30 分鐘空冷後的齒尖金相組織請見圖 4- 39(a)，高週波淬火後的齒頂部位，在回火過程中會轉變為回火麻田散鐵與波來鐵的混和組織，雖然此階段殘留沃斯田鐵與麻田散鐵會析出微細的碳化物，但受限於光學顯微鏡倍率及解析度的關係，因此而無法清楚辨別出回火時所析出之碳化物的大小及分布情形。以 200°C 回火 30 分鐘空冷後的齒尖金相組織請見圖 4- 39(c)、(d)，與回火前的試片變化較不為明顯。而在二次淬火後再經回火的試片也有同樣的情形，無法以光學顯微鏡觀察出碳化物析出的情形，故以硬度量測法較能比較出其性質上的差異。

### 4-3-3 施以高週波淬火及二次淬火後之金相組織

淬火加熱溫度和持溫時間對鋼料淬火後的性質影響甚大，於 800°C 爐內持溫 30 分鐘後淬火的試片，組成成分為麻田散鐵為基底，並分布著較小的粒狀碳化物，見圖 4-40(a)~(d)，表示於再次淬火加熱時剩餘的  $\text{Fe}_3\text{C}$  會固溶回基地之中，我們知道麻田散鐵一旦形成之後就不容易被消除，故這些繼續固溶回基地的  $\text{Fe}_3\text{C}$  能使在次淬火後的麻田散鐵硬度提高。

但在提升鋸齒硬度的同時，於鋸齒中心處有出現部分的裂紋，見圖 4-40(e)、(f)，其成因為發生麻田散鐵變態時材料會膨脹，不均勻的麻田散鐵變態會使材料內部產生不均勻的應力。因麻田散鐵組織很脆，不均勻的應力容易使材料變形或發生破裂情況。

於 800°C 持溫 30 秒後淬火的試片，經由圖 4-41 金相組織觀察，可以觀察到鋸齒由齒頂至鋸身處有連續的變化組織，應為尚未完全沃斯田鐵化之時就降溫冷卻，故無法變為麻田散鐵組織。

## 4-4 磨耗試驗

### 4-4-1 實驗試片與其回火後之磨耗試驗

僅經過高週波感應加熱淬火後的試片，經過磨耗試驗後，測試結果請見圖 4- 42 與圖 4- 43，可明顯發現照片中的鋸齒在經過 3 m 的垂直鋸切後，刀面與刀腹磨耗的情形。

經過高週波感應加熱淬火後再以 150°C 進行回火的鋸片，經磨耗試驗後，測試結果請見圖 4- 44 與圖 4- 45，也可發現刀面與刀腹磨耗的情形，但皆經過 5 m 的垂直鋸切後，經過 150°C 回火的鋸片其刀腹磨耗與凹穴深度磨耗量比起無回火處理的試片來的小，外觀也較保持原狀。將照片上的結果量測出  $b$ （刀腹磨耗）、 $l$ （穴疤長度）、 $hc$ （凹穴深度）值繪製成曲線圖於圖 4- 46 與圖 4- 47。

而經過高週波感應加熱淬火後再以 200°C 回火與 250°C 回火的鋸片，磨耗過程中的鋸齒外觀較為接近 Nordström 與 Bergström 的實驗中磨耗情形，其結果照片請見圖 4- 48 至圖 4- 51。將照片上的結果量測出 ED、ER 值繪製成曲線圖於 圖 4- 52 與圖 4- 53，可發現經 200°C 回火的鋸齒磨耗程度比 250°C 回火的鋸片來的小。

#### 4-4-2 實驗試片與其二次淬火再回火後之磨耗試驗

將二次淬火再回火後的試片，經過磨耗試驗後，發現皆在齒尖處崩斷的情形發生，圖 4-54 與圖 4-55 為 800°C 爐內持溫 2 分鐘二次淬火再經 150°C 回火後於不同放大倍率下拍攝的照片，圖 4-56 與圖 4-57 為 800°C 爐內持溫 2 分鐘二次淬火再經 200°C 回火後於不同放大倍率下拍攝的照片，皆可發現鋸切 3 m 後的鋸齒頂部發生斷裂現象，而於 200°C 回火在試片斷裂之前，有變形的情形發生。推測的結果為經過二次淬火後的試片硬度值較原本試片增加許多，低溫回火造成的硬度降較少，位於齒頂的後方並沒有較軟的質地來吸收鋸切時的變形，並且在淬火時可能工件內部有裂紋的發生，所以較容易造成齒頂部位斷裂。



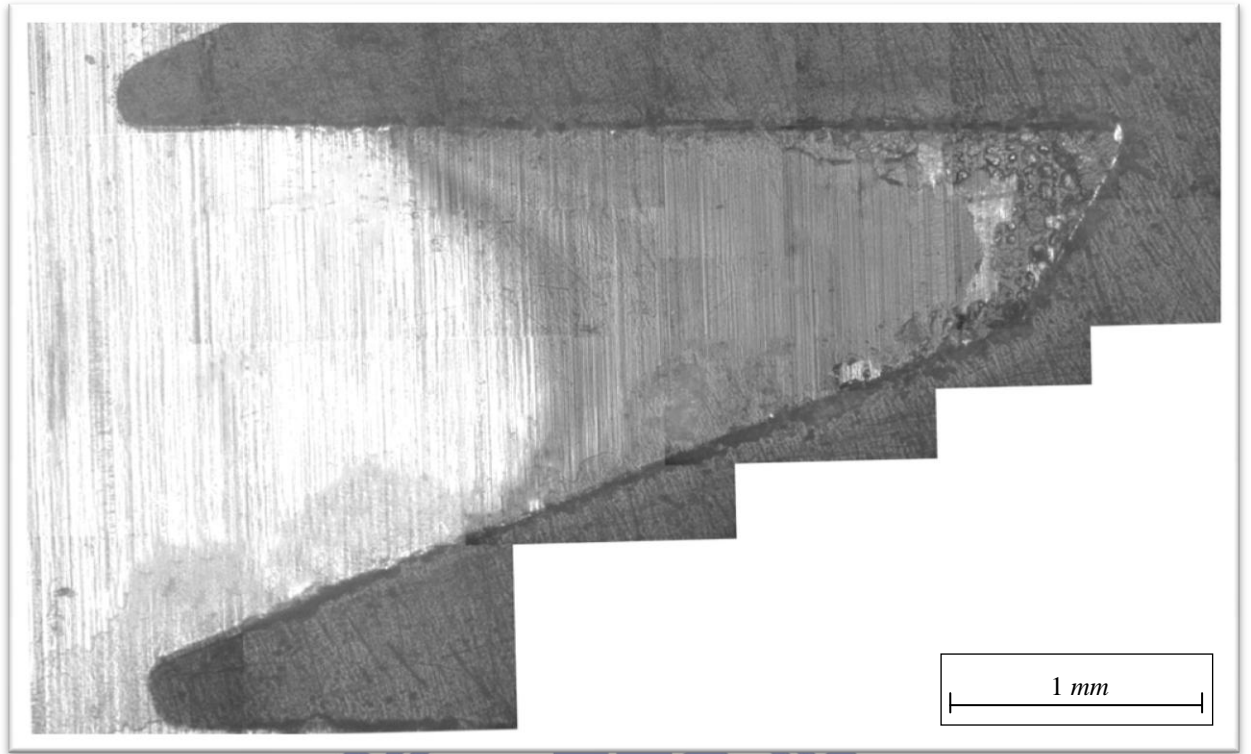


圖 4-1 實驗用鋸片單一鋸齒

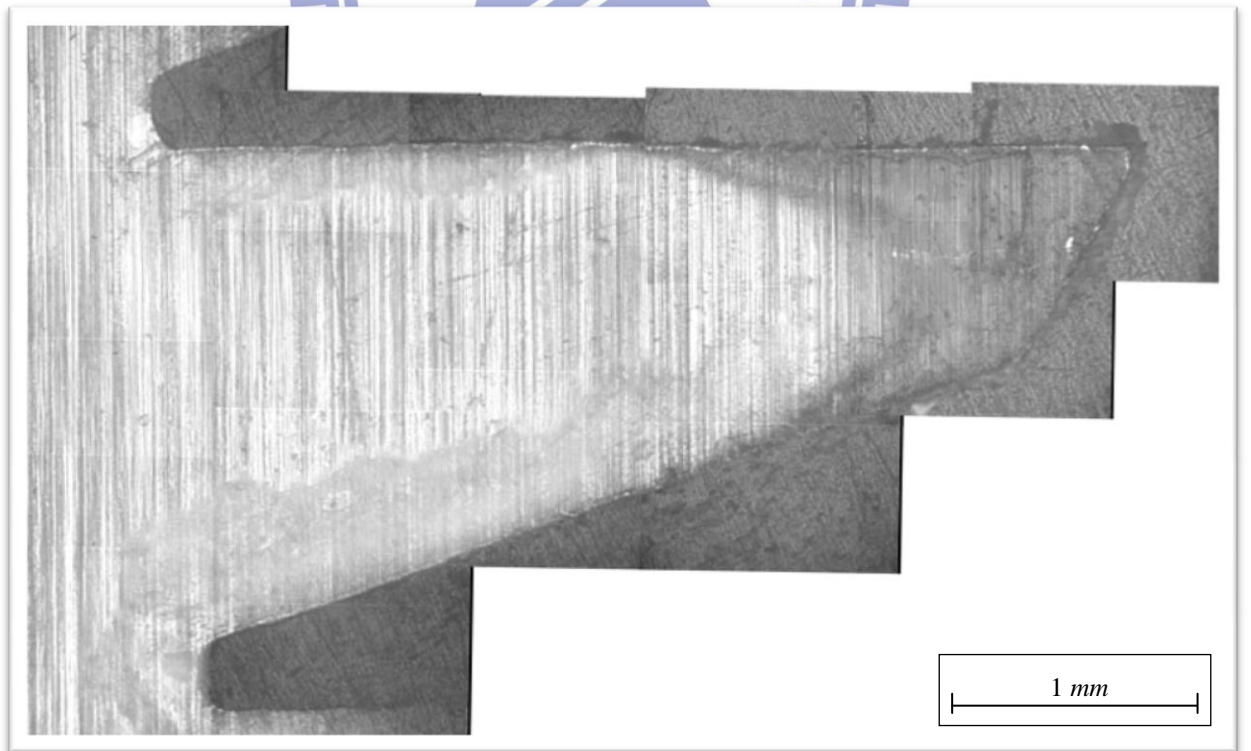


圖 4-2 Shark Saw 單一鋸齒



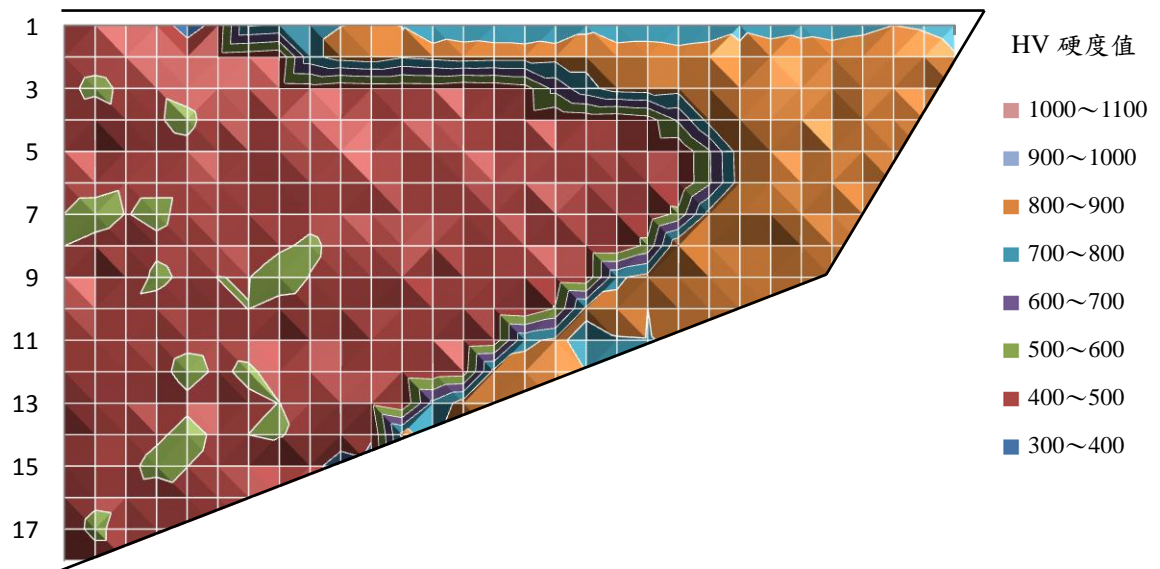


圖 4-3 實驗試片高週波淬火後硬度分布圖

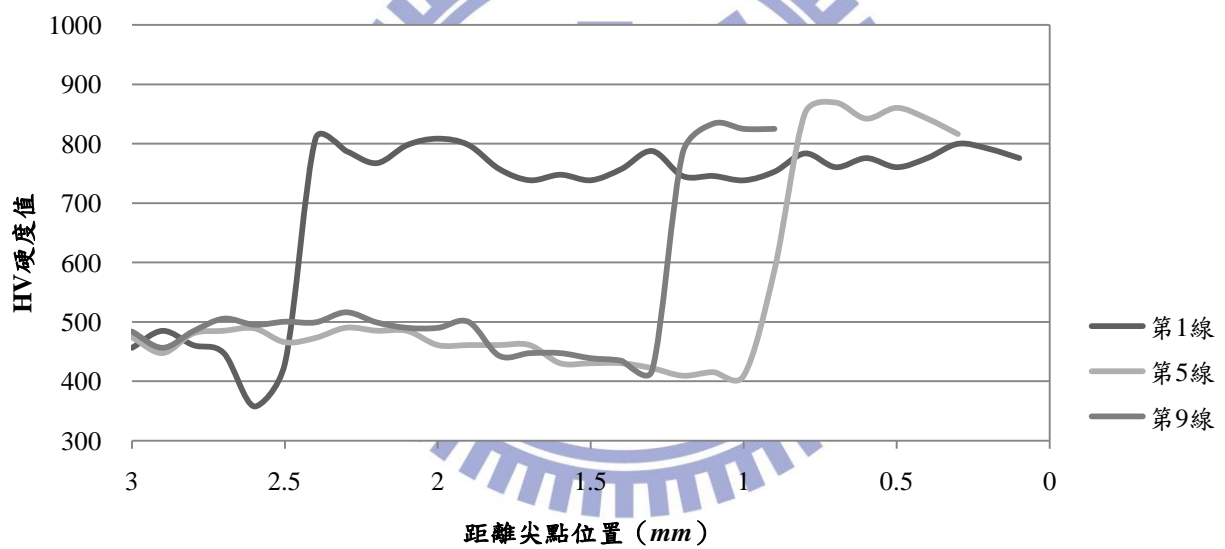


圖 4-4 實驗試片高週波淬火後硬度曲線圖

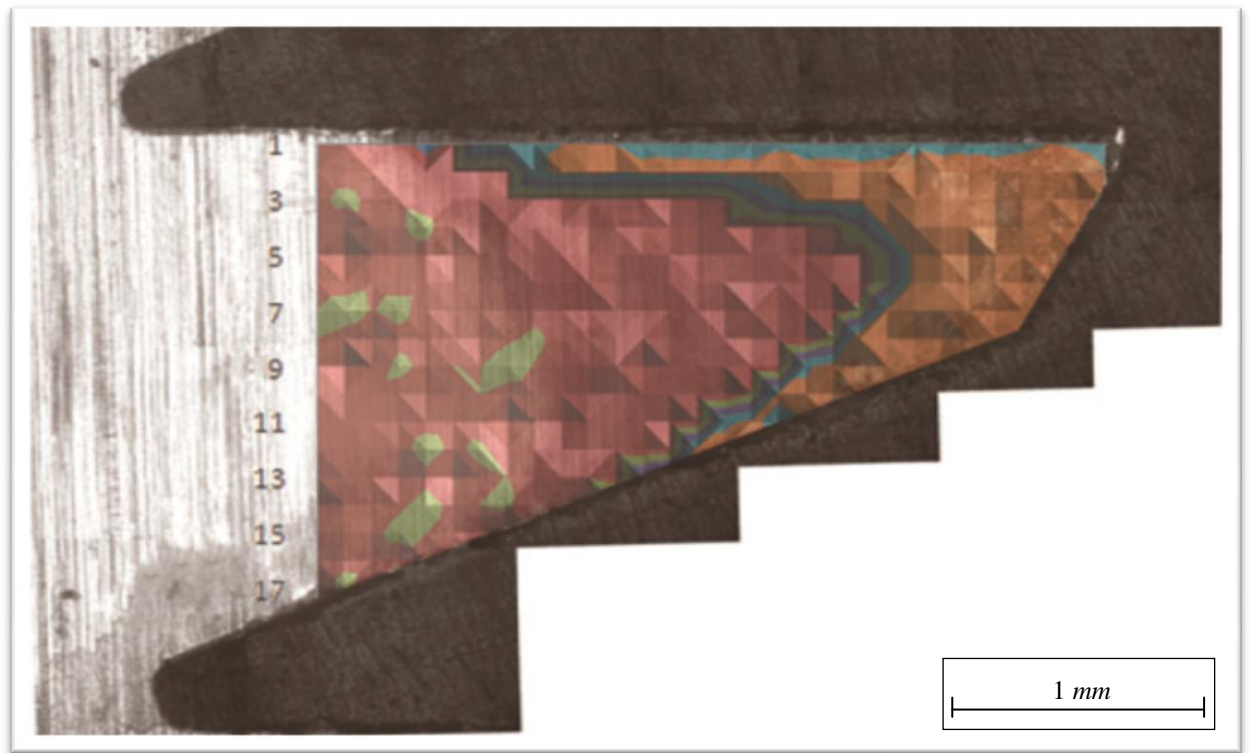


圖 4-5 高週波淬火後硬度分布疊合黑暈照片



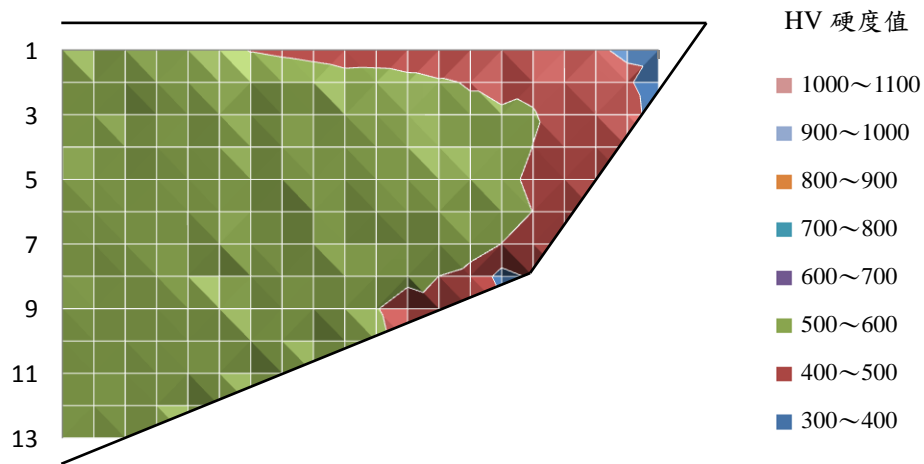


圖 4- 6 Shark Saw 硬度分布圖

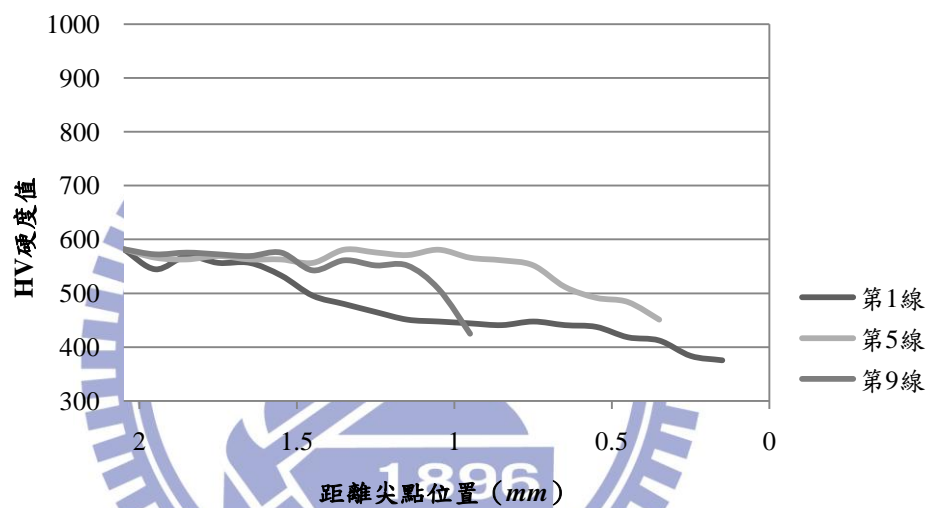


圖 4- 7 Shark Saw 硬度曲線圖

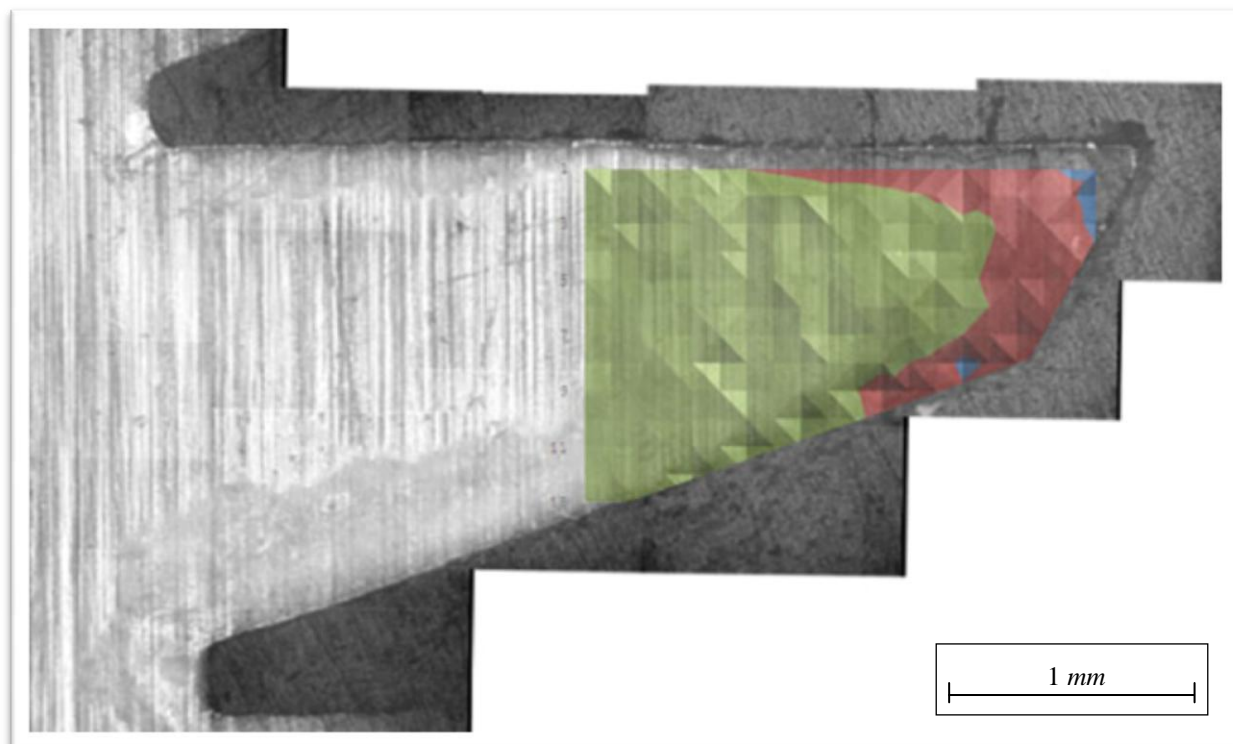


圖 4-8 Shark Saw 硬度分布疊合黑暈照片



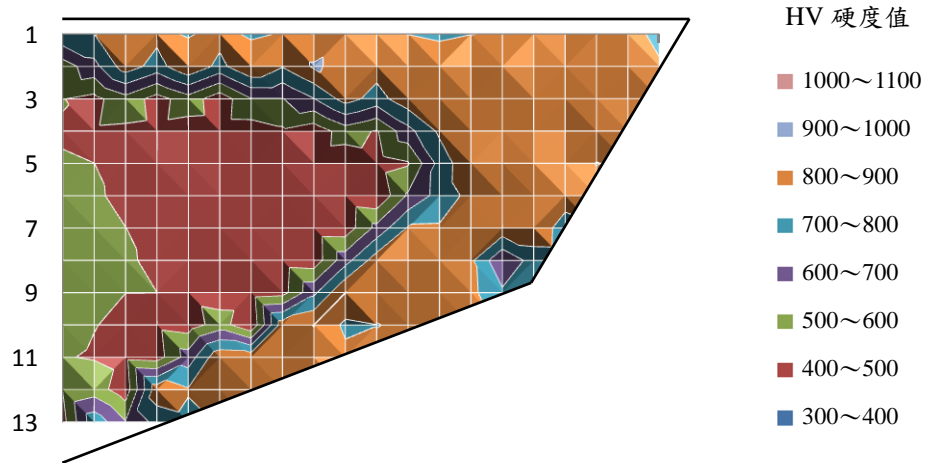


圖 4-9 高週波淬火及 150°C 回火 30 分鐘後空冷硬度分布圖

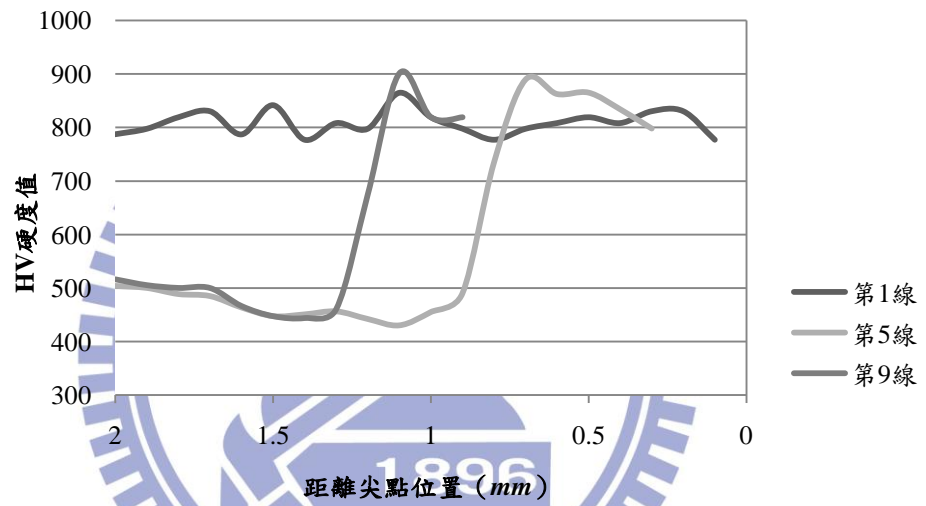


圖 4-10 高週波淬火及 150°C 回火 30 分鐘後空冷硬度曲線圖



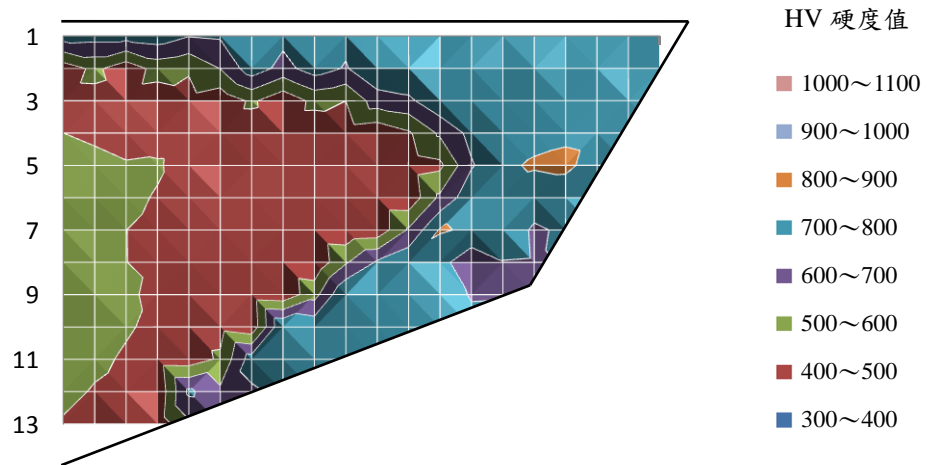


圖 4- 11 高週波淬火及 200°C 回火 30 分鐘後空冷硬度分布圖

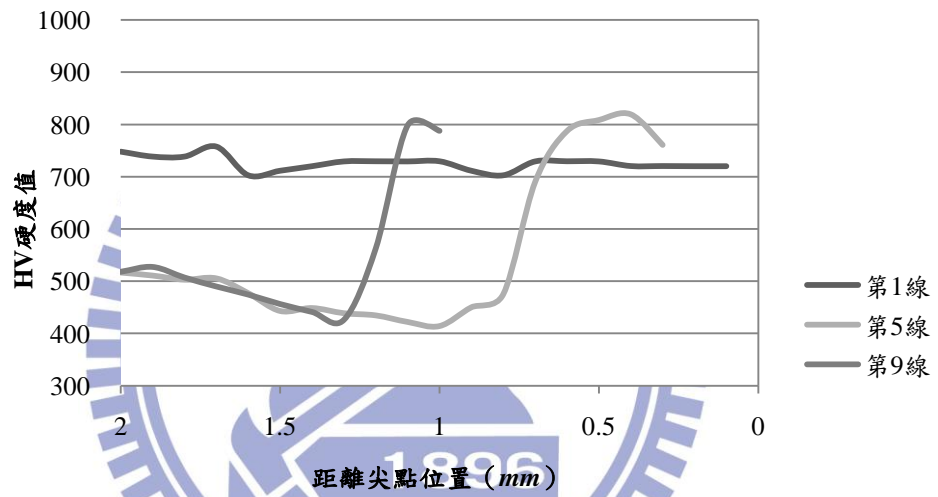


圖 4- 12 高週波淬火及 200°C 回火 30 分鐘後空冷硬度曲線圖

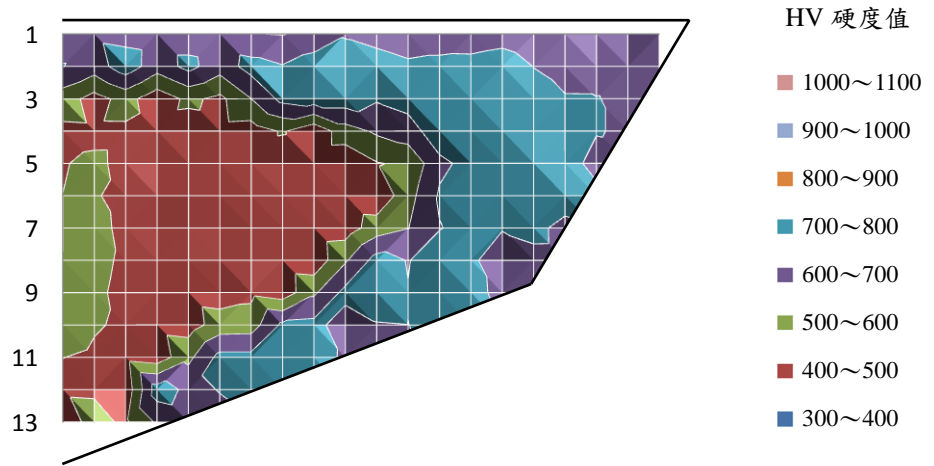


圖 4- 13 高週波淬火及 250°C 回火 30 分鐘後空冷硬度分布圖

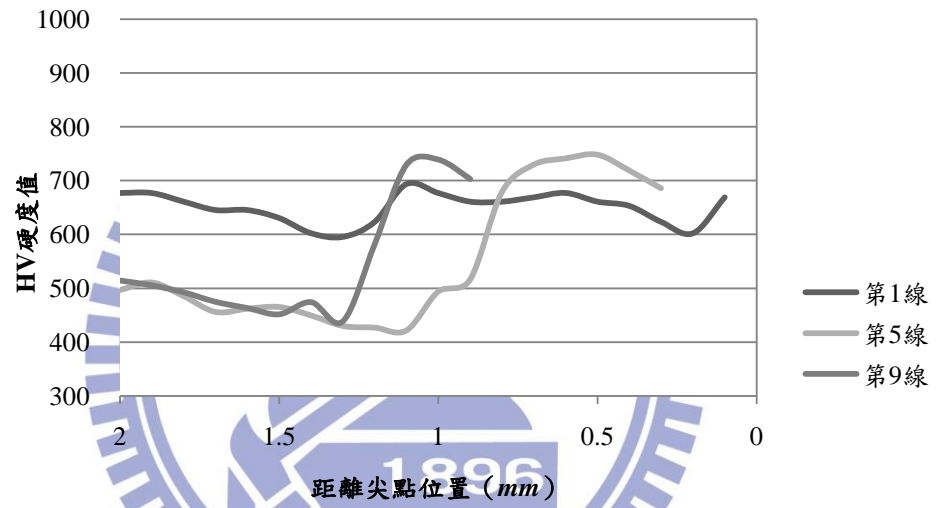


圖 4- 14 高週波淬火及 250°C 回火 30 分鐘後空冷硬度曲線圖

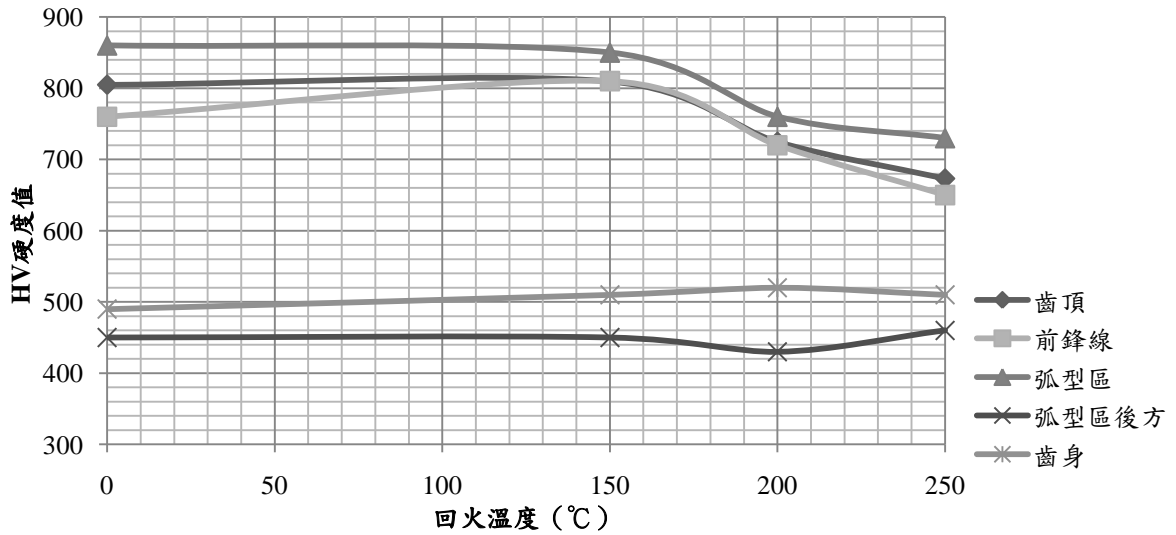


圖 4-15 鋸齒不同部位於不同回火溫度下的硬度變化

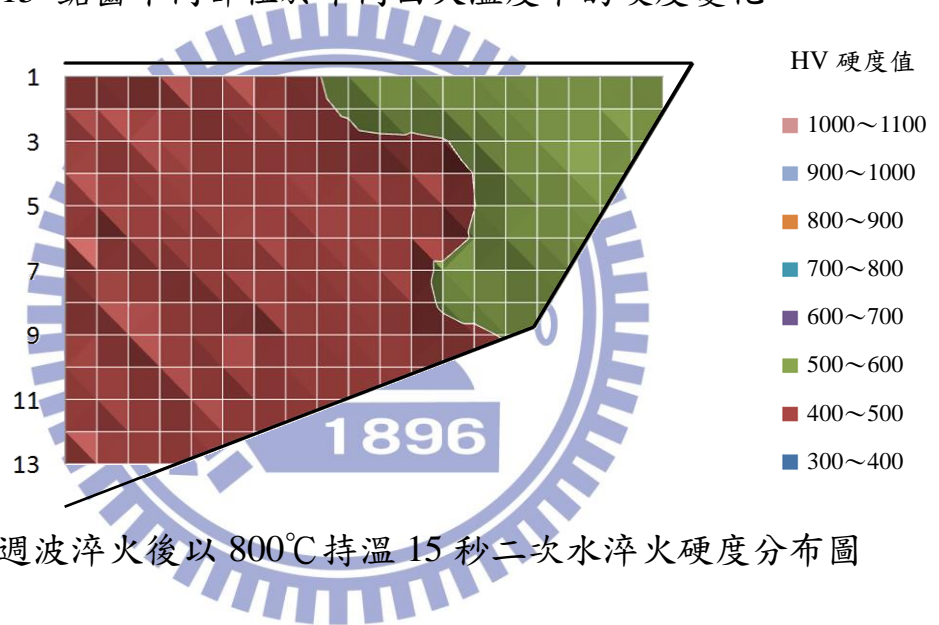


圖 4-16 高週波淬火後以 800°C 持溫 15 秒二次水淬火硬度分布圖

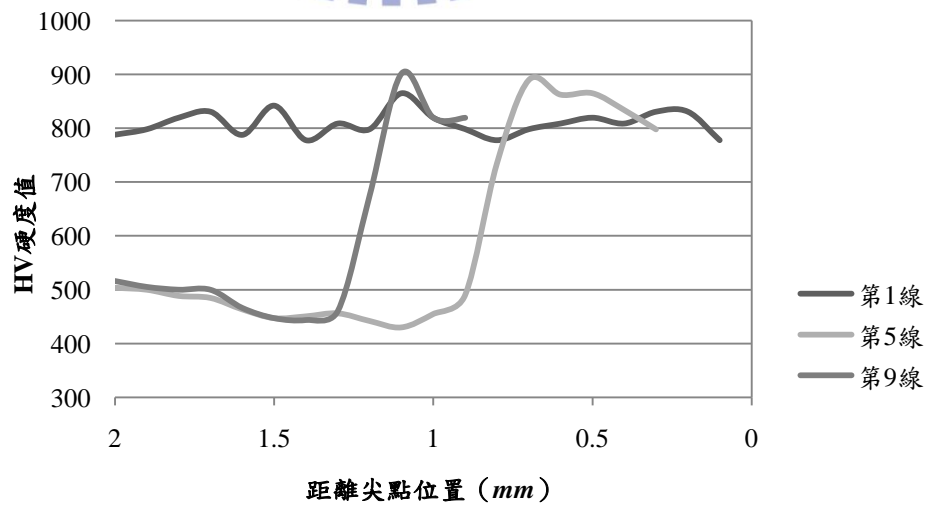


圖 4-17 高週波淬火後以 800°C 持溫 15 秒二次水淬火硬度曲線圖

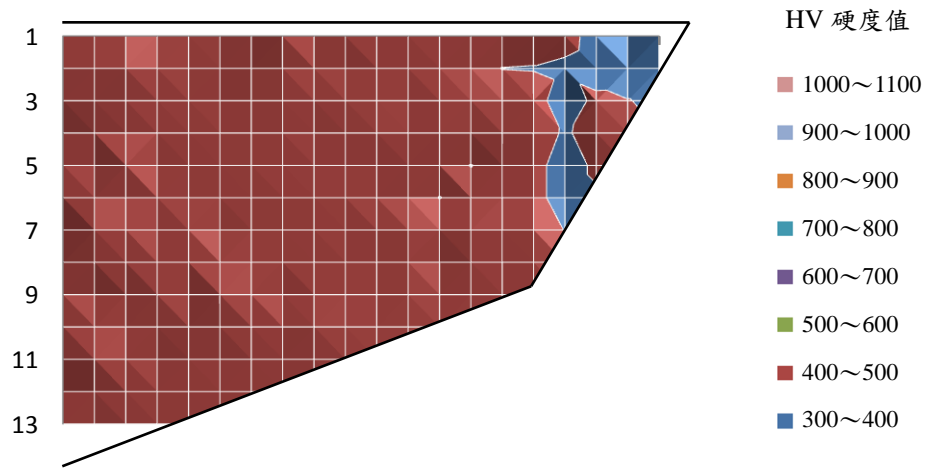


圖 4- 18 高週波淬火後以 800°C 持溫 30 秒二次水淬火硬度分布圖

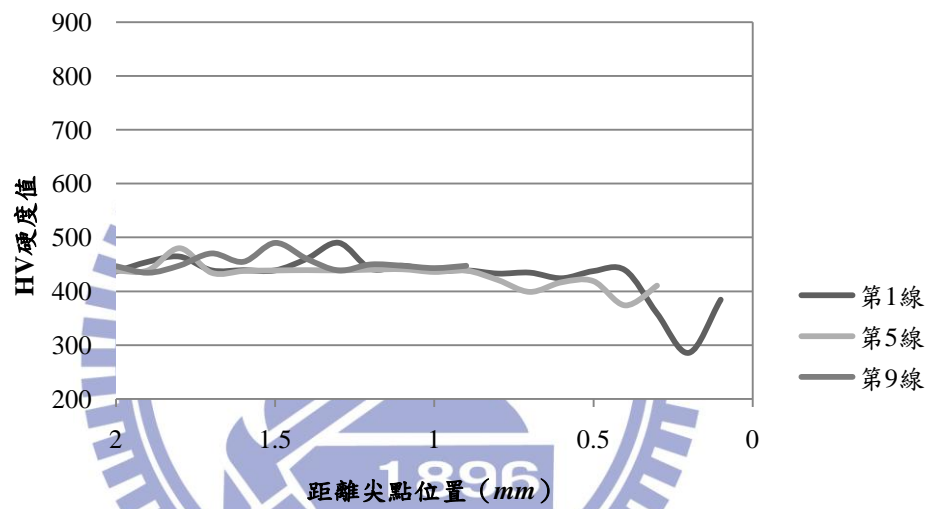


圖 4- 19 高週波淬火後以 800°C 持溫 30 秒二次水淬火硬度曲線圖

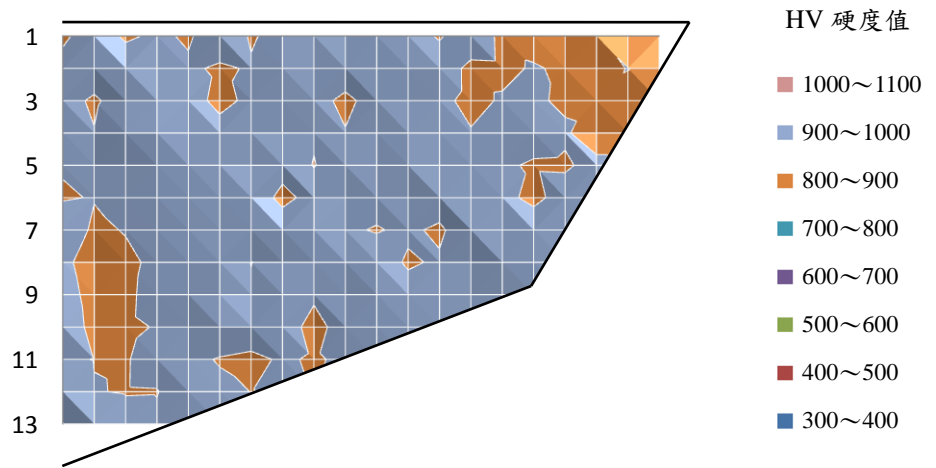


圖 4- 20 高週波淬火後以 800°C 持溫 1 分二次水淬火硬度分布圖

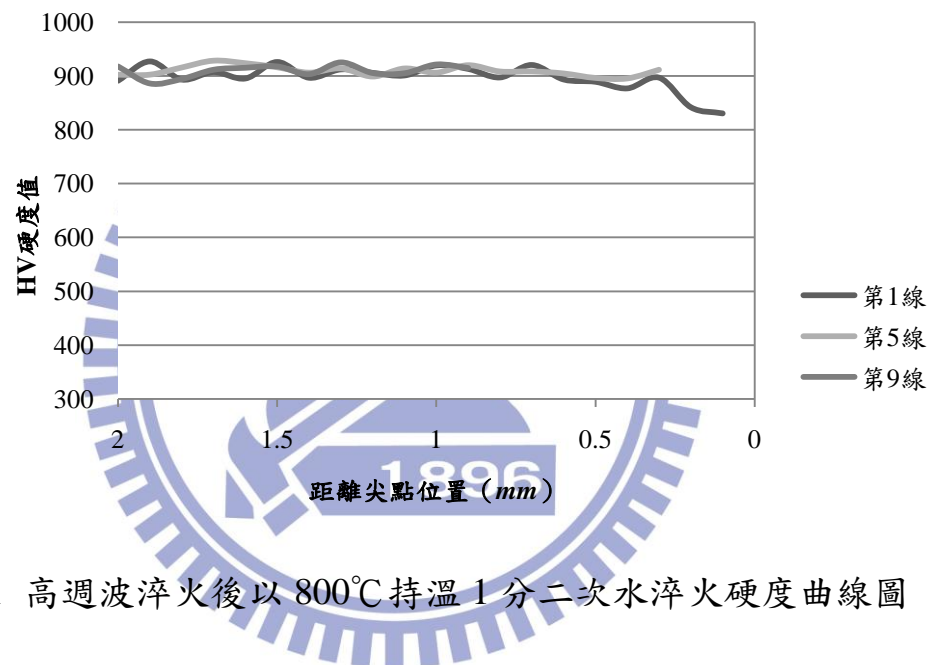


圖 4- 21 高週波淬火後以 800°C 持溫 1 分二次水淬火硬度曲線圖



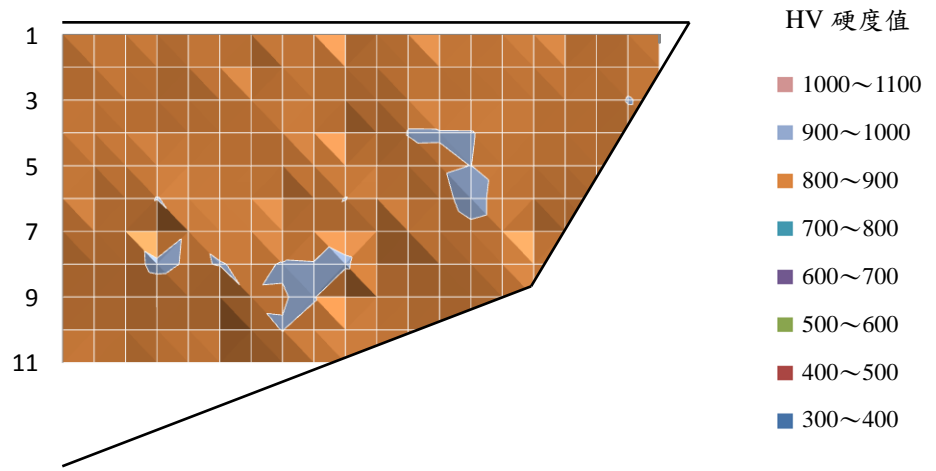


圖 4-22 高週波淬火後以 800°C 持溫 2 分二次水淬火硬度分布圖

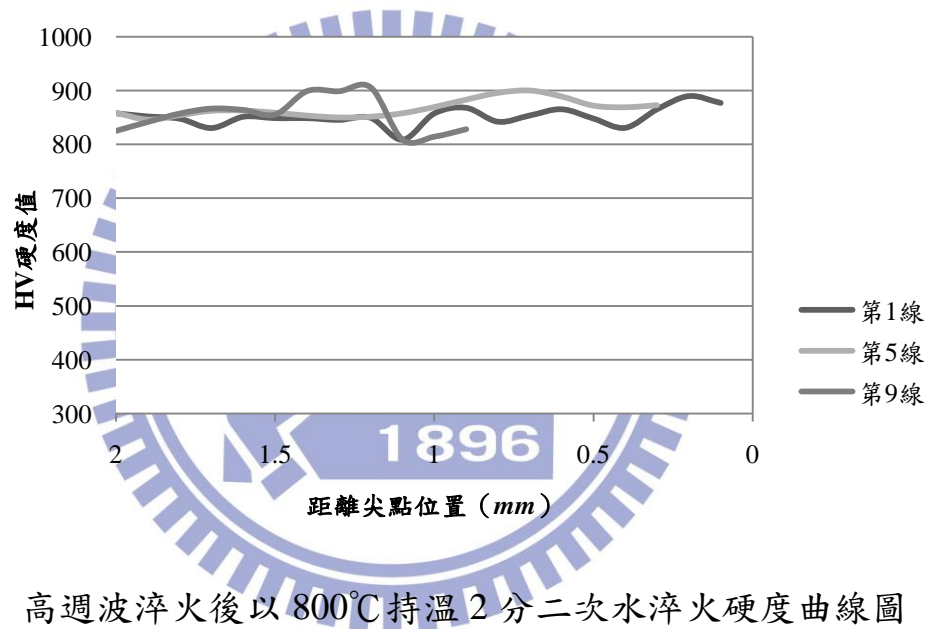


圖 4-23 高週波淬火後以 800°C 持溫 2 分二次水淬火硬度曲線圖

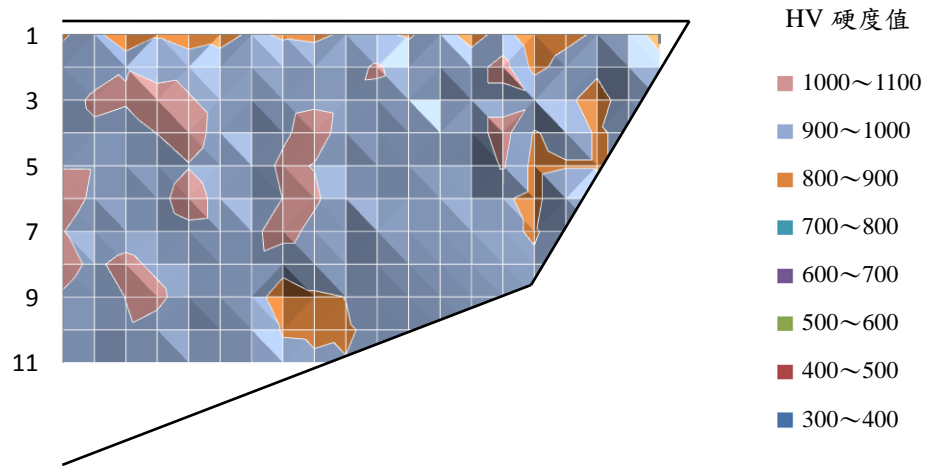


圖 4- 24 高週波淬火後以 800°C 持溫 30 分二次水淬火硬度分布圖

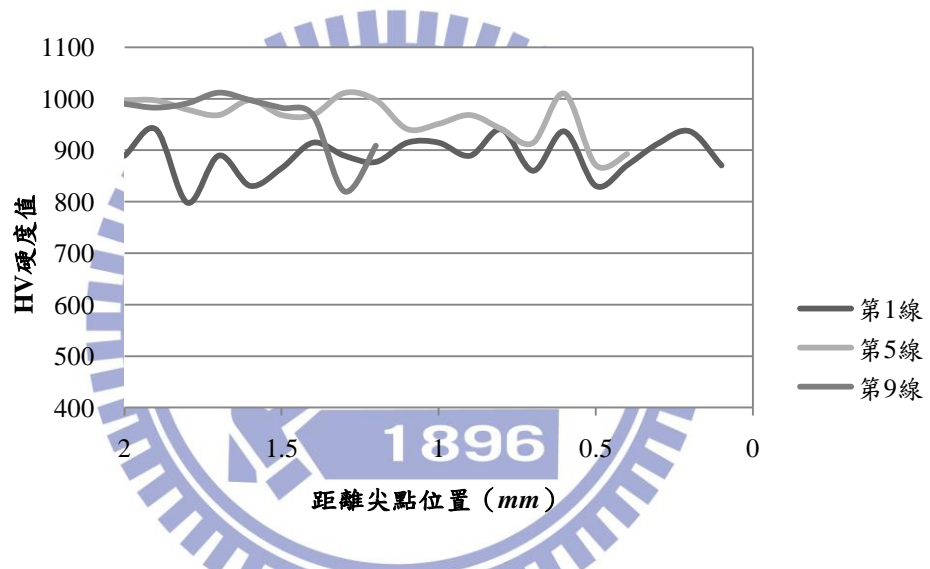


圖 4- 25 高週波淬火後以 800°C 持溫 30 分二次水淬火硬度曲線圖

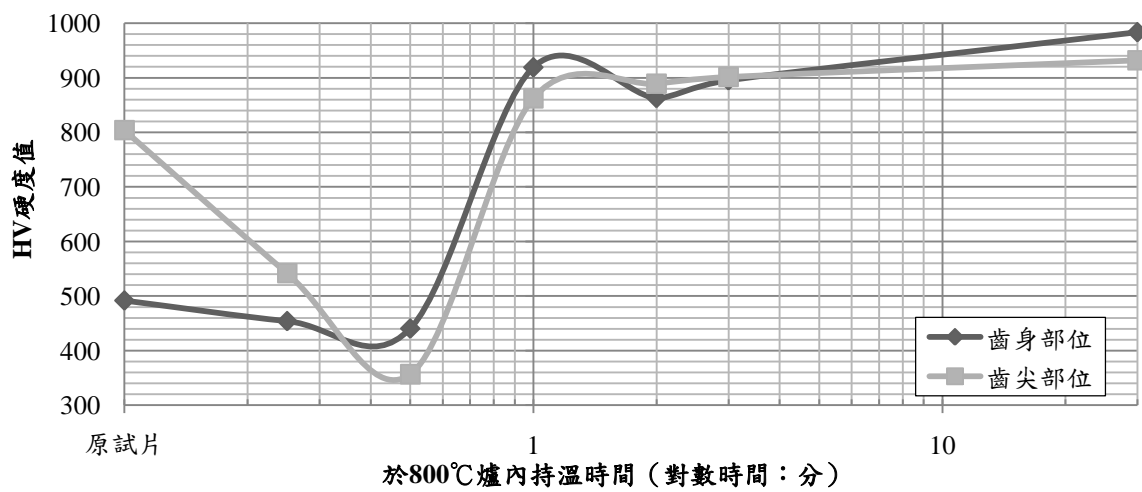


圖 4- 26 於 800°C 不同持溫時間二次淬火後硬度的變化曲線

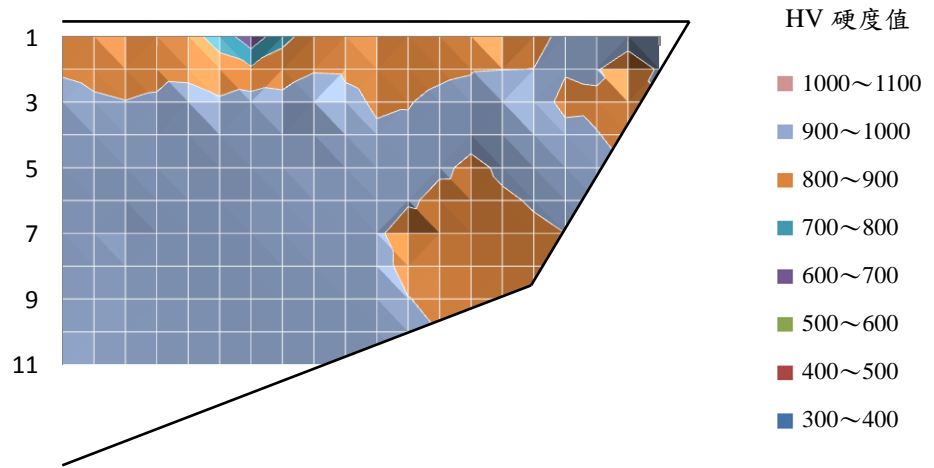


圖 4- 27 試片二次淬火後以 150°C 回火 30 分鐘硬度分布圖

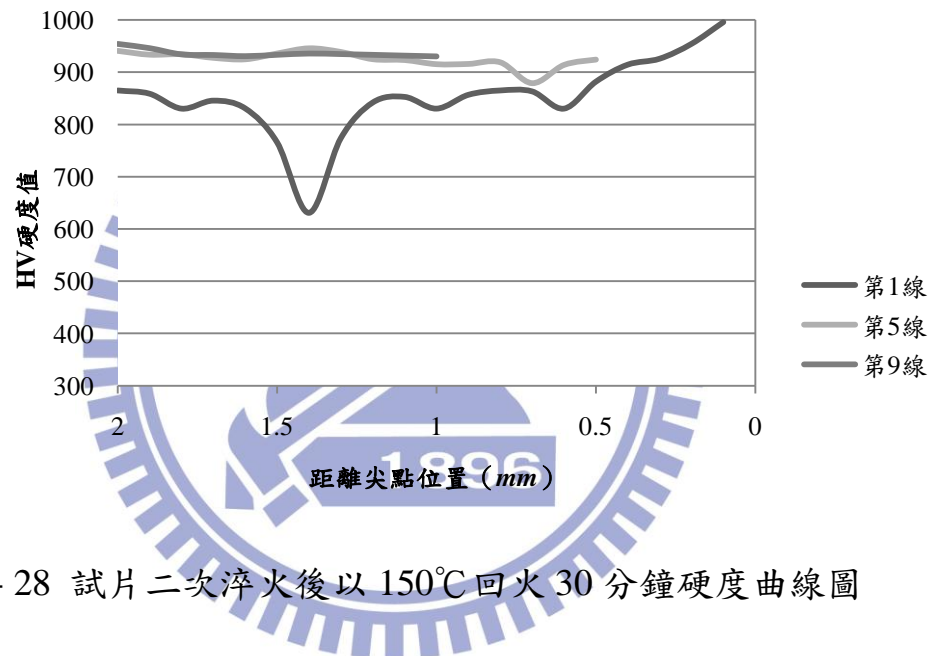


圖 4- 28 試片二次淬火後以 150°C 回火 30 分鐘硬度曲線圖

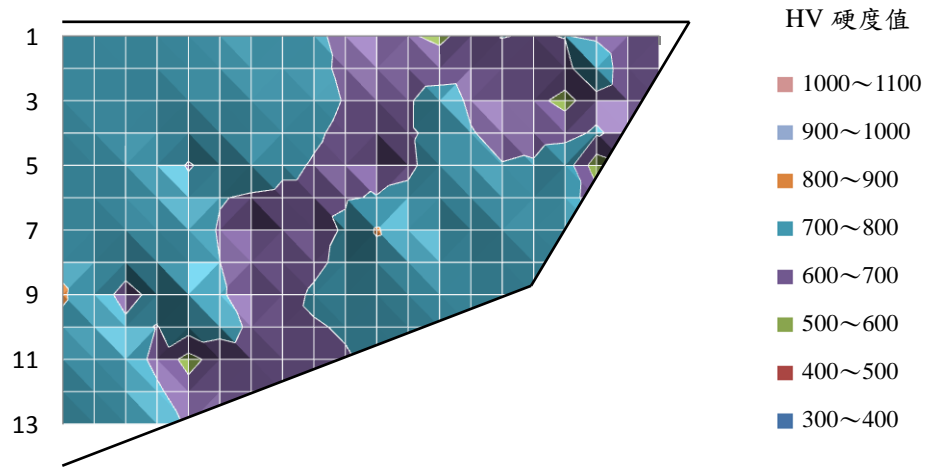


圖 4- 29 試片二次淬火後以 200°C 回火 30 分鐘硬度分布圖

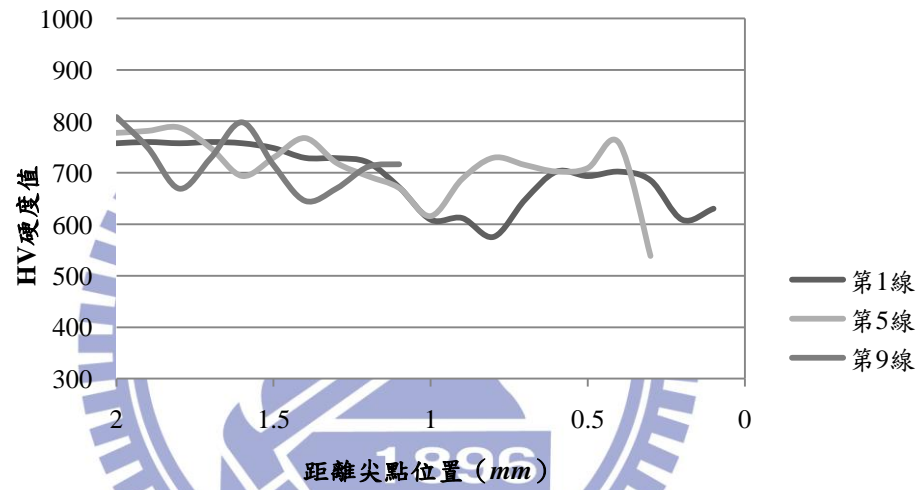


圖 4- 30 試片二次淬火後以 200°C 回火 30 分鐘硬度曲線圖

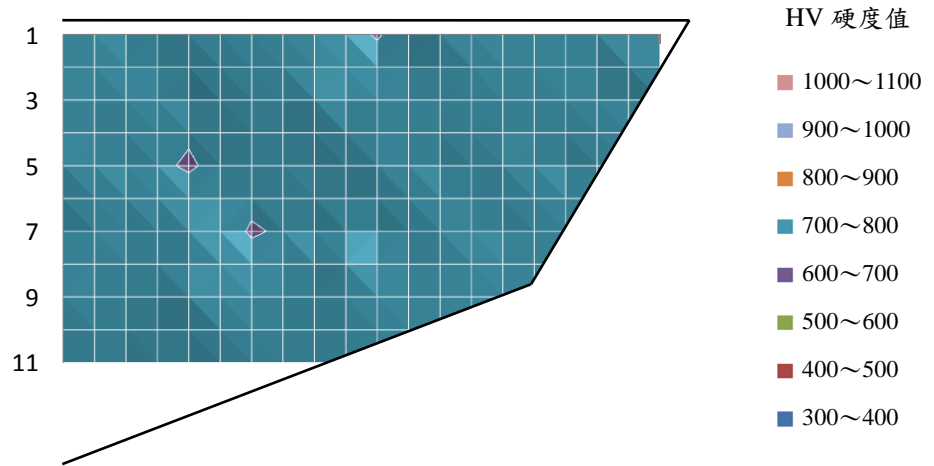


圖 4- 31 試片二次淬火後以 250°C 回火 30 分鐘硬度分布圖

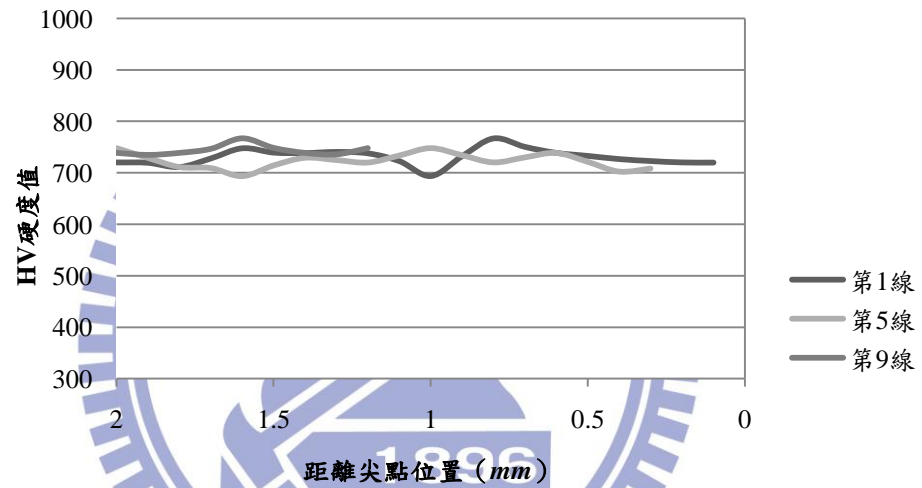


圖 4- 32 試片二次淬火後以 250°C 回火 30 分鐘硬度曲線圖

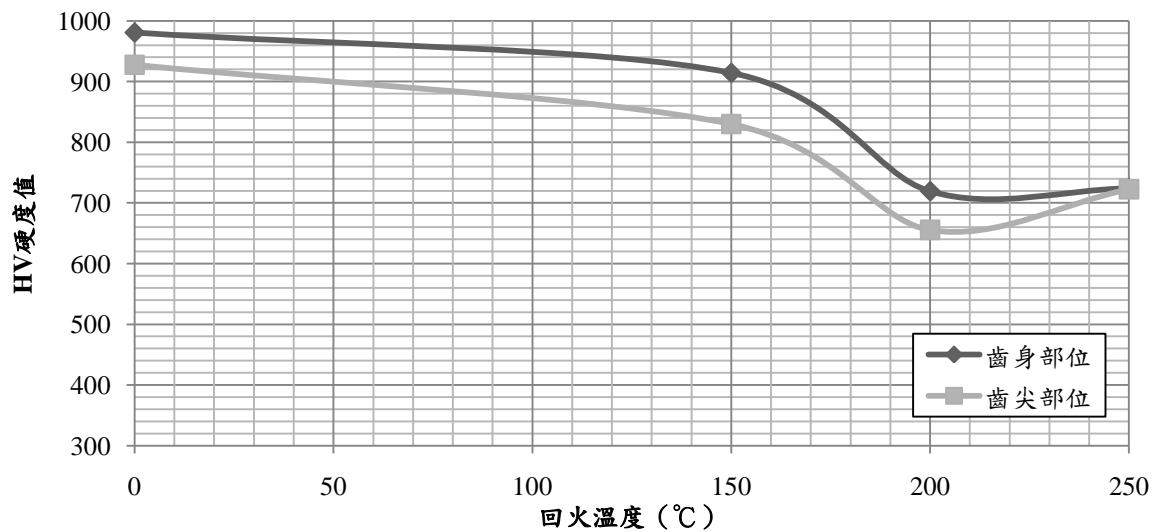


圖 4- 33 試片二次淬火後於不同回火溫度 30 分鐘硬度變化曲線



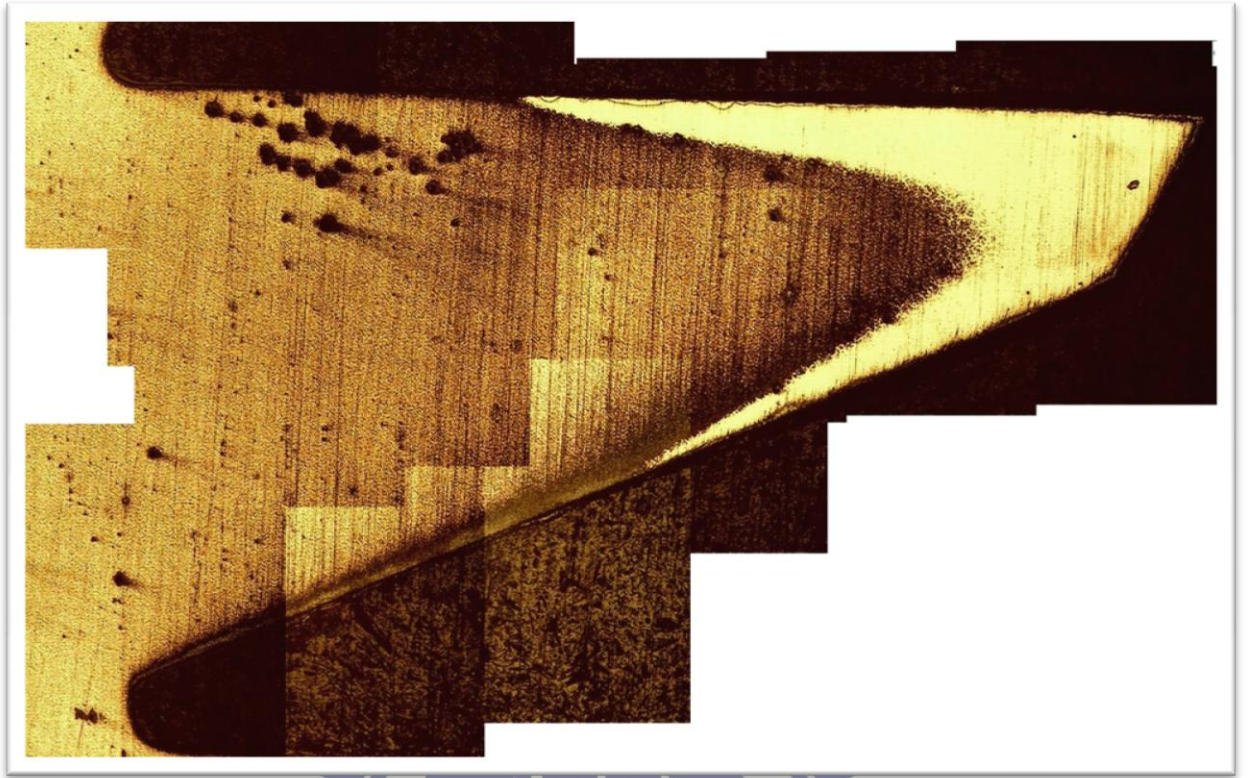


圖 4-34 高週波淬火後以稀硝酸溶液浸蝕拼接照片

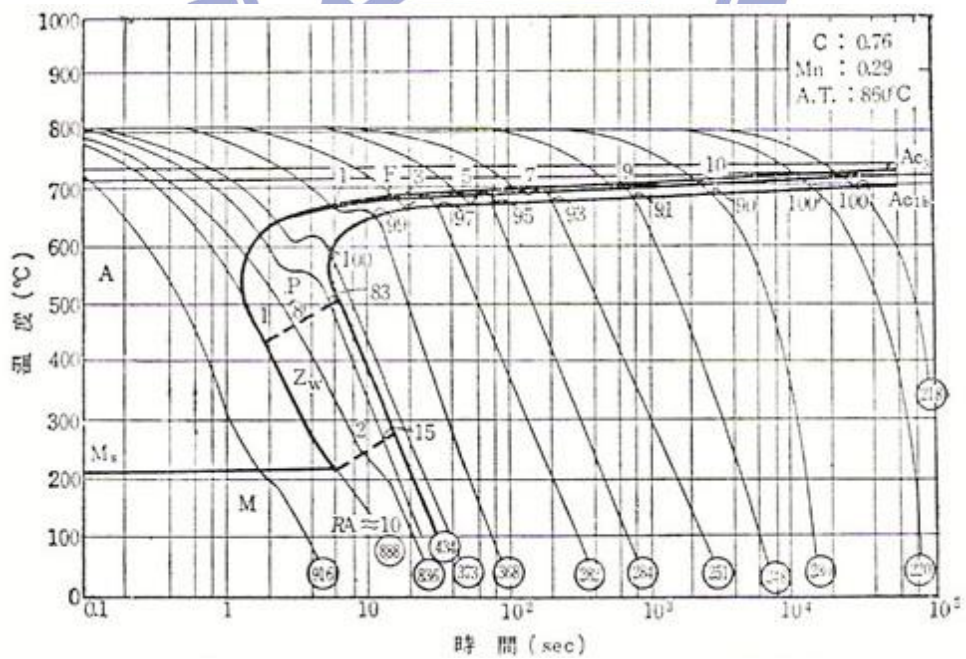


圖 4-35 含碳量 0.76% 工具鋼之 C.C.T. 曲線



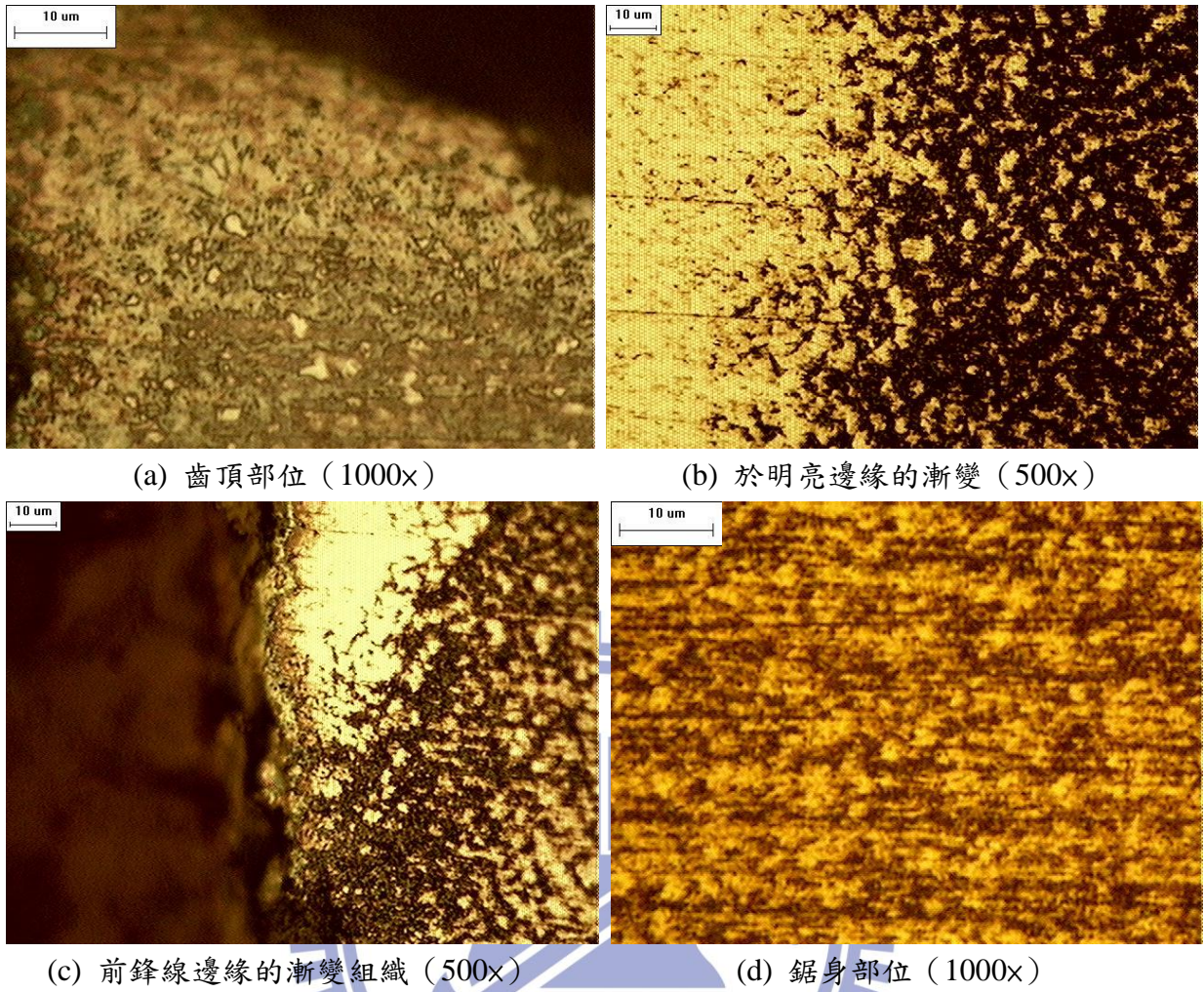


圖 4- 36 高週波感應加熱衝風淬火後的試片金相組織

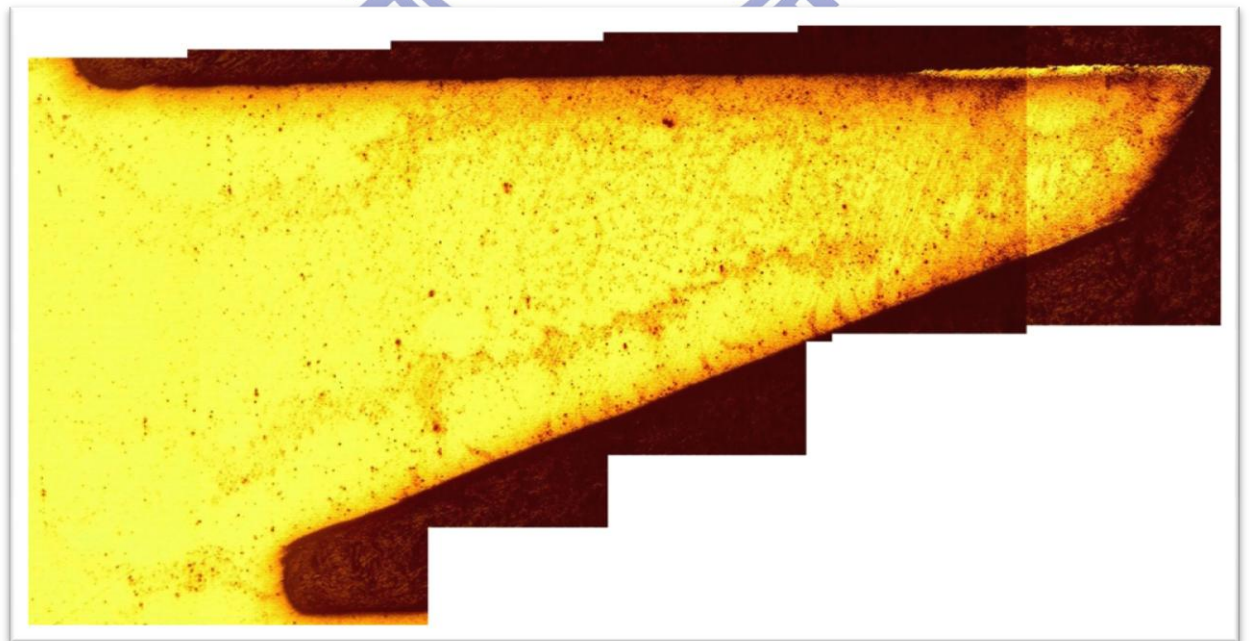
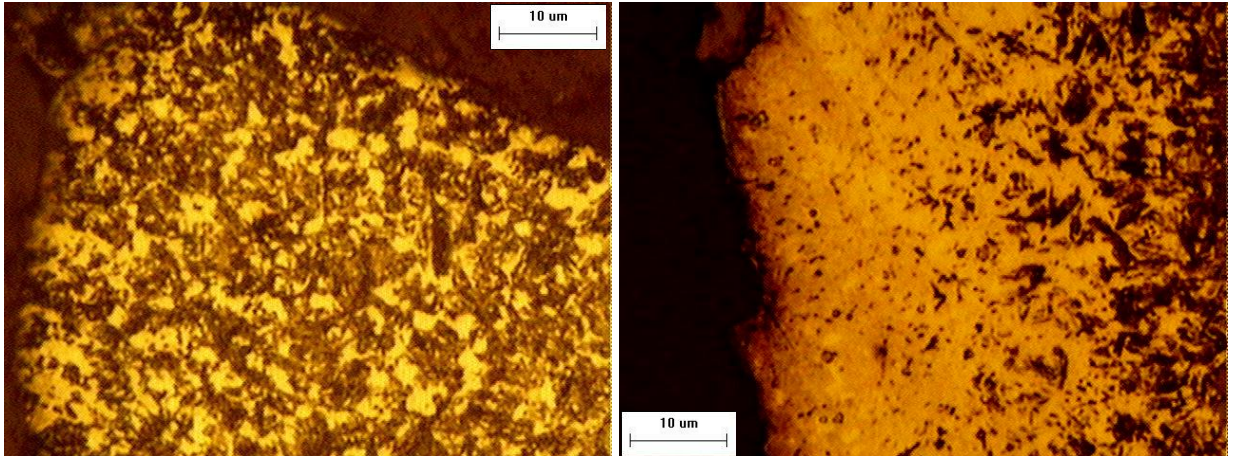


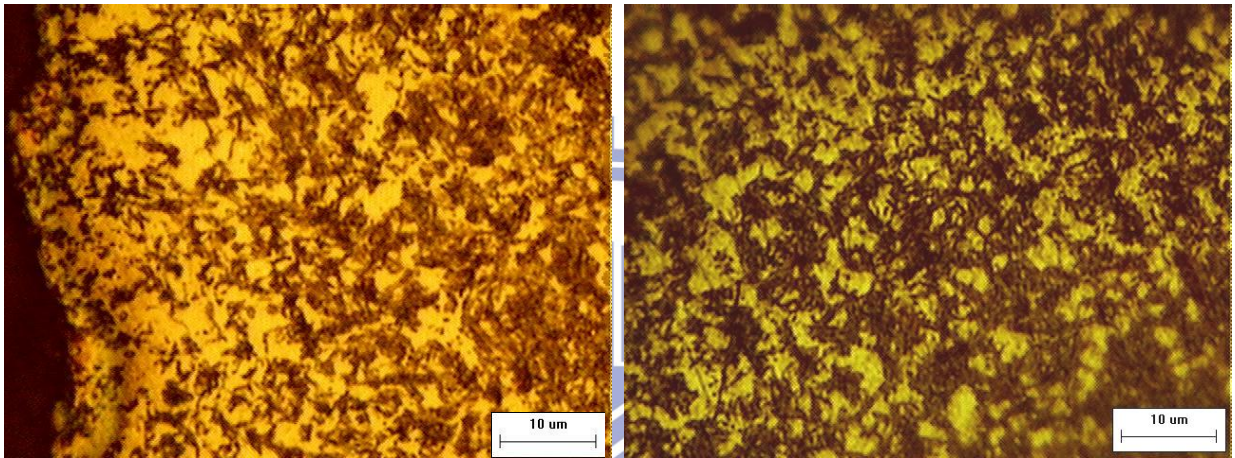
圖 4- 37 Shark Saw 以稀硝酸溶液浸蝕拼接照片





(a) 齒尖部位 (1000x)

(b) 前鋒線明亮邊緣處 (1000x)

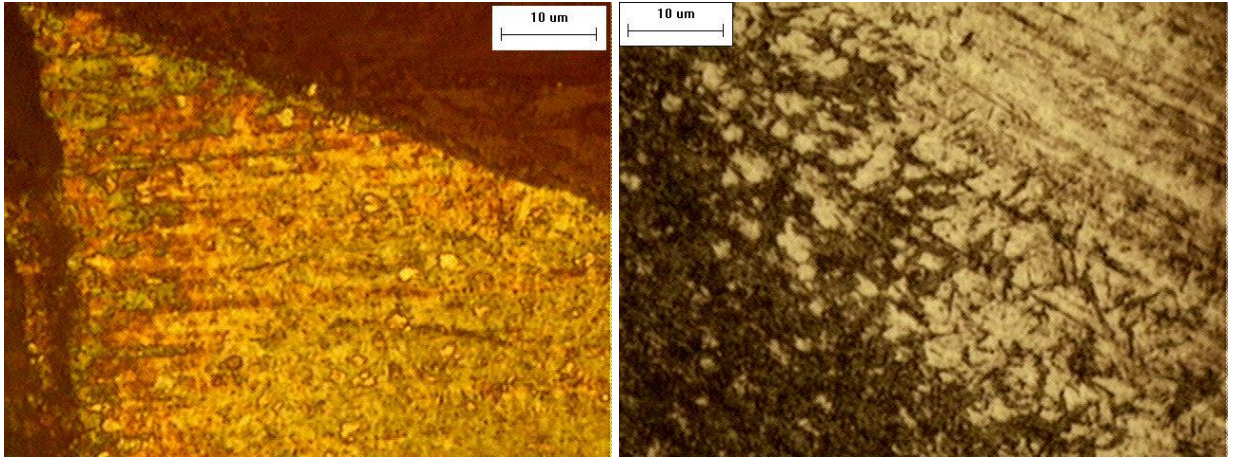


(c) 前鋒線邊緣 (1000x)

(d) 鋸身部位 (1000x)

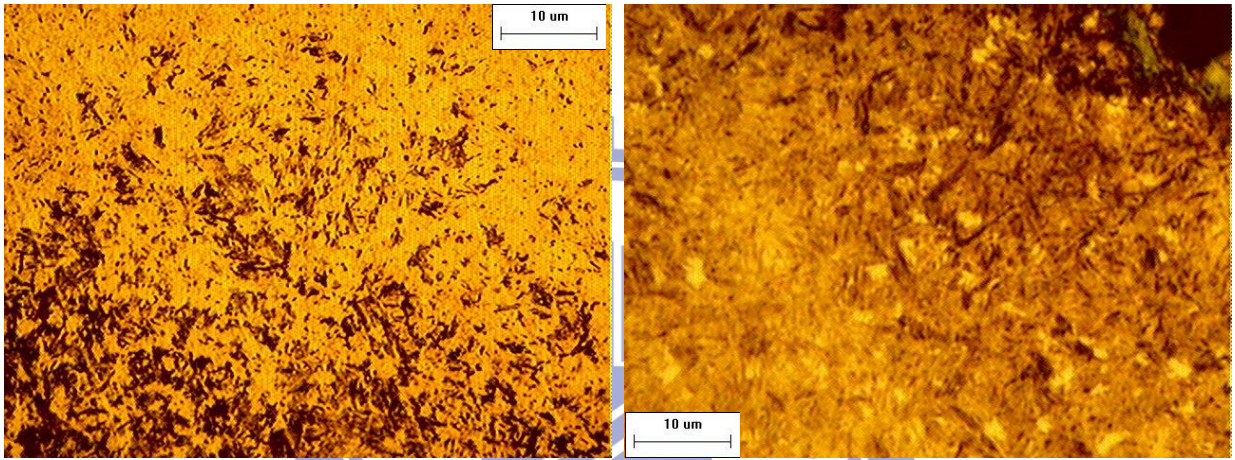
圖 4- 38 Shark Saw 試片金相組織





(a) 150°C 回火於齒頂處 (1000x)

(b) 150°C 回火漸變組織 (1000x)

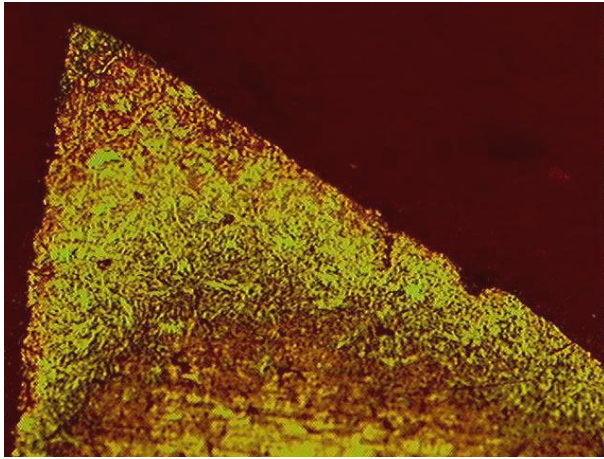


(c) 200°C 回火漸變組織 (1000x)

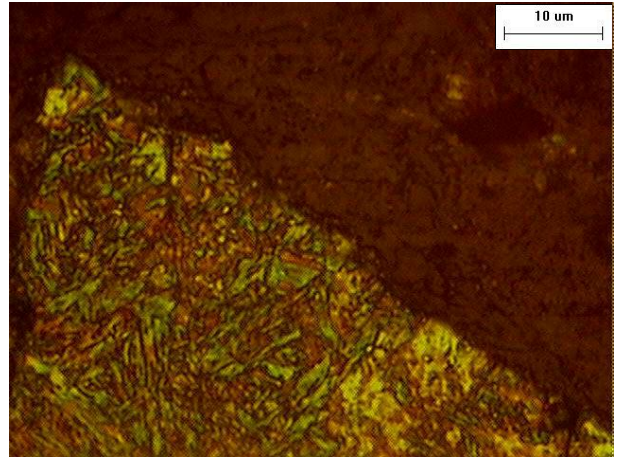
(d) 200°C 回火邊緣處 (1000x)

圖 4-39 實驗試片於不同溫度下回火 30 分鐘之金相組織

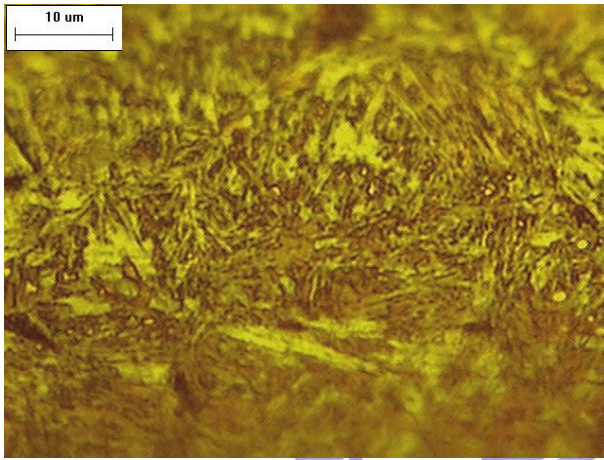




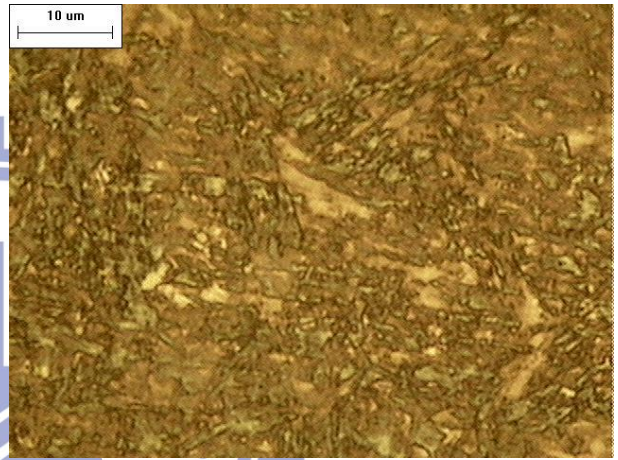
(a) 二次淬火齒頂部位 (500x)



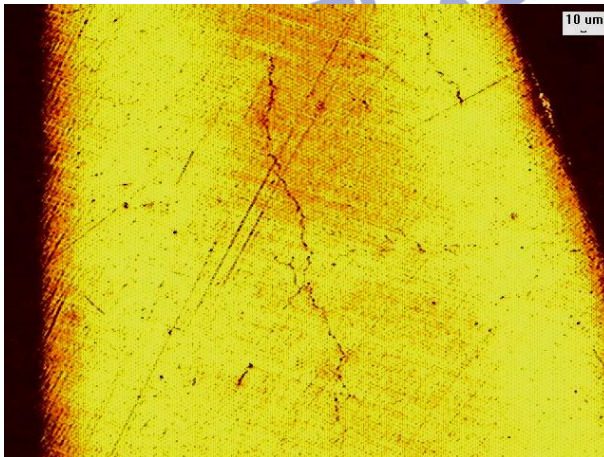
(b) 二次淬火齒頂部位 (1000x)



(c) 二次淬火麻田散鐵組織 (1000x)



(d) 二次淬火齒身部位 (1000x)



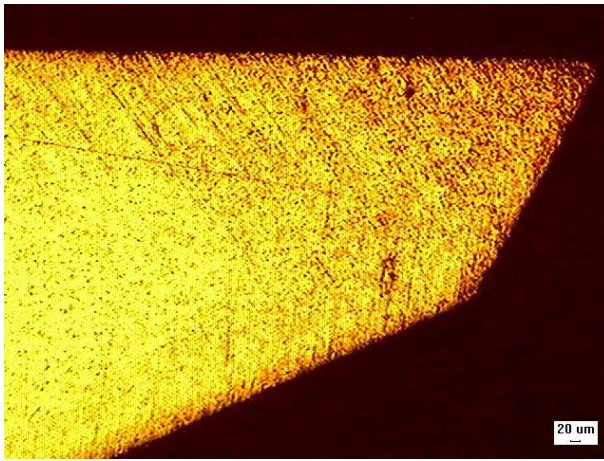
(e) 二次淬火發生內部裂紋 (50x)



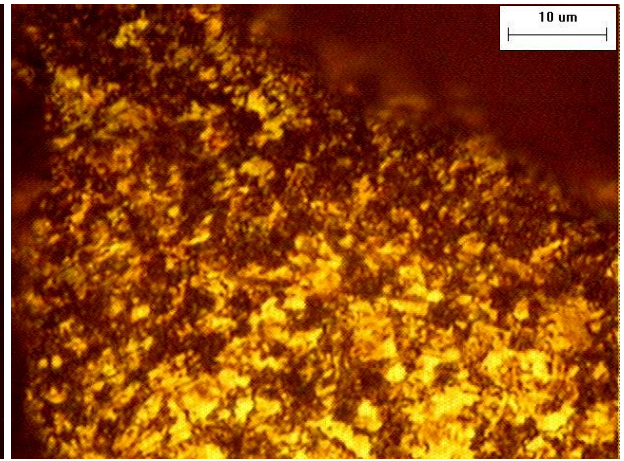
(f) 二次淬火發生內部裂紋 (500x)

圖 4-40 實驗試片於 800°C 持溫 30 分二次淬火後之金相組織

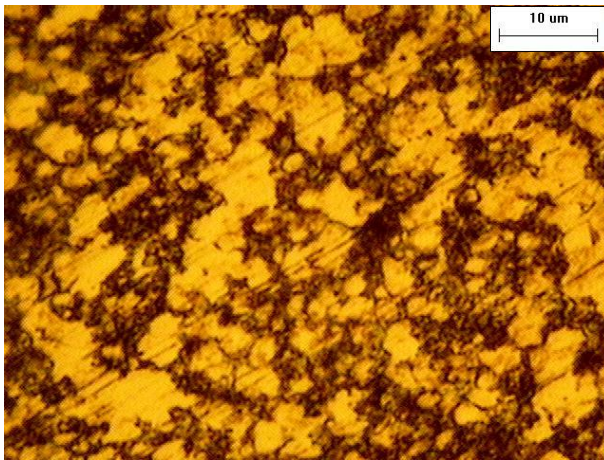




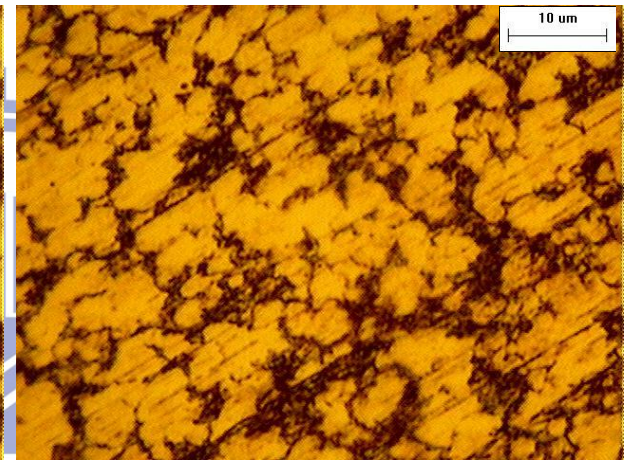
(a) 800°C 持溫 30 秒淬火金相組織 (50x)



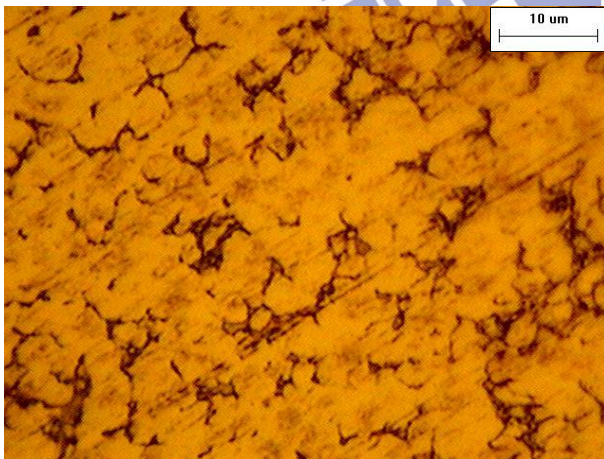
(b) 齒頂部位 (1000x)



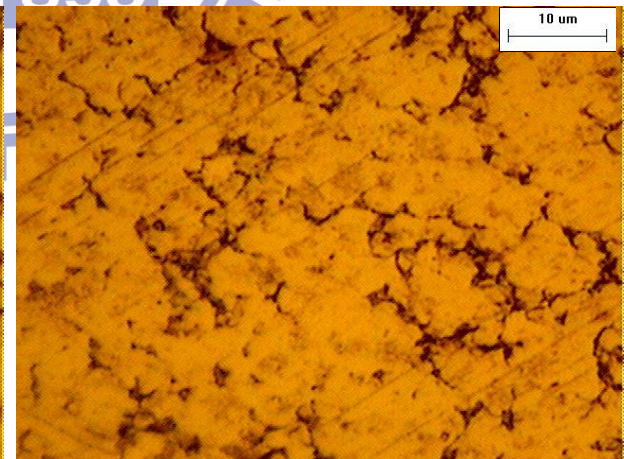
(c) 原先弧狀部位 (1000x)



(d) 鋸齒中心部位 (1000x)



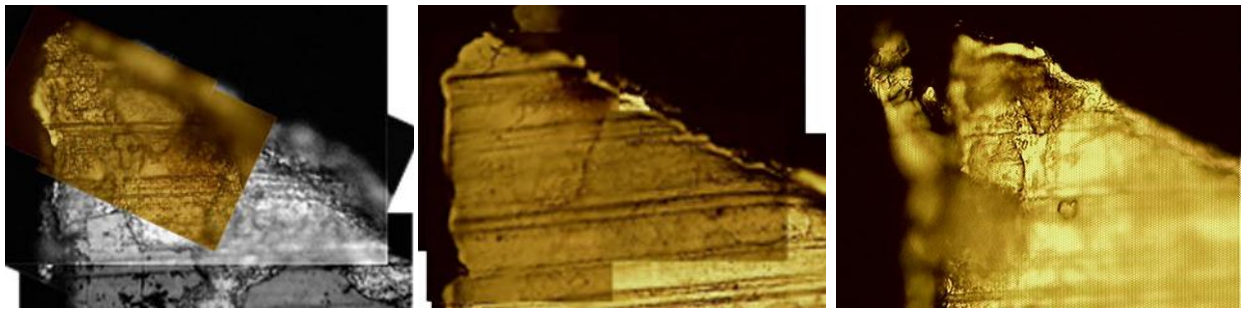
(e) 齒底部位 (1000x)



(f) 鋸身部位 (1000x)

圖 4-41 實驗試片於 800°C 持溫 30 秒後二次淬火金相組織

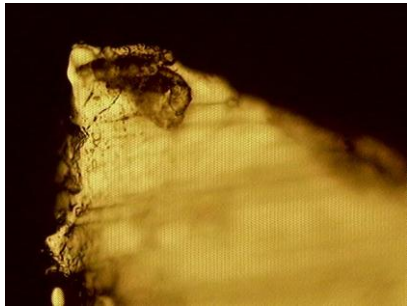




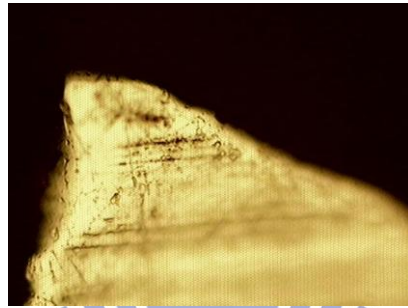
(a) 原試片

(b) 經過 1 m 磨耗

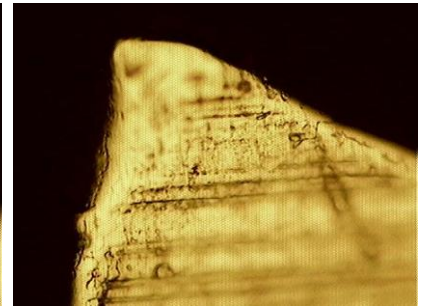
(c) 經過 2 m 磨耗



(d) 經過 3 m 磨耗

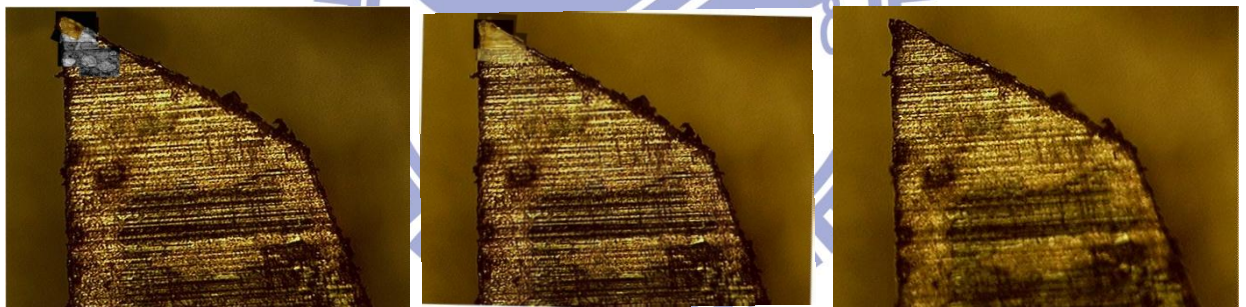


(e) 經過 4 m 磨耗



(f) 經過 5 m 磨耗

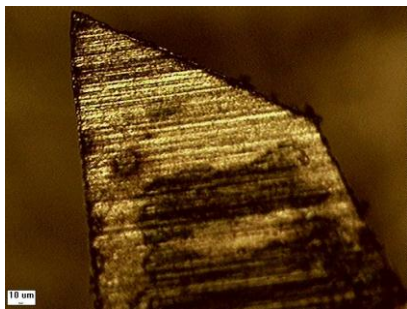
圖 4- 42 鋸片磨耗測試 (500x)



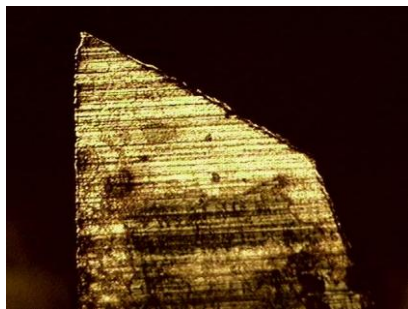
(a) 原試片

(b) 經過 1 m 磨耗

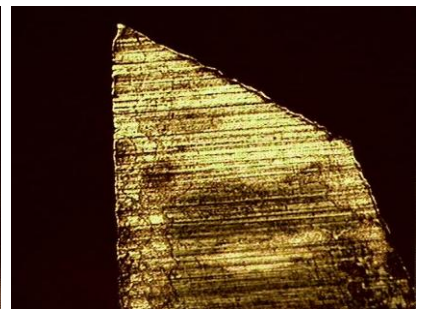
(c) 經過 2 m 磨耗



(d) 經過 3 m 磨耗



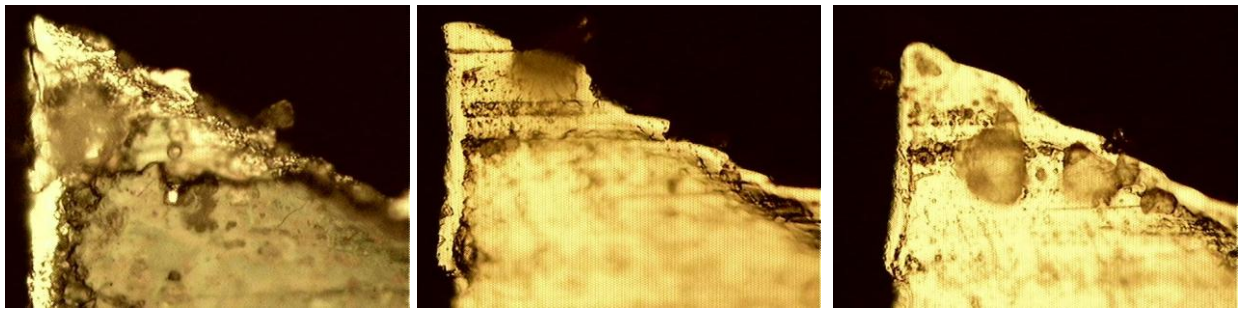
(e) 經過 4 m 磨耗



(f) 經過 5 m 磨耗

圖 4- 43 鋸片磨耗測試 (50x)

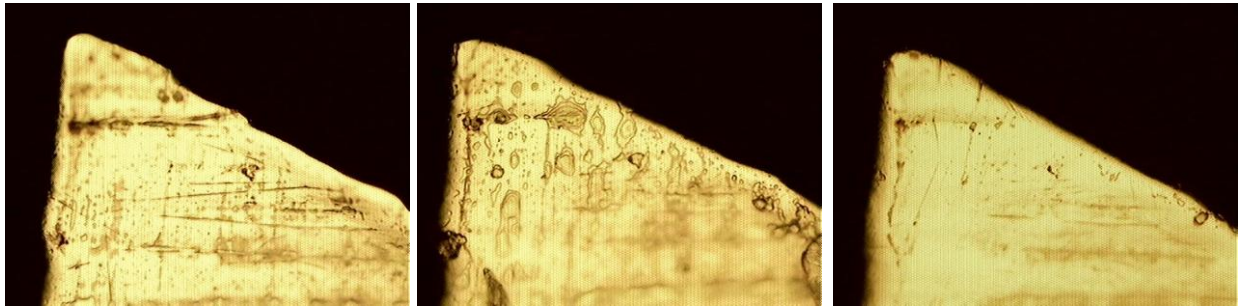




(a) 150°C 回火試片

(b) 經過 1 m 磨耗

(c) 經過 2 m 磨耗

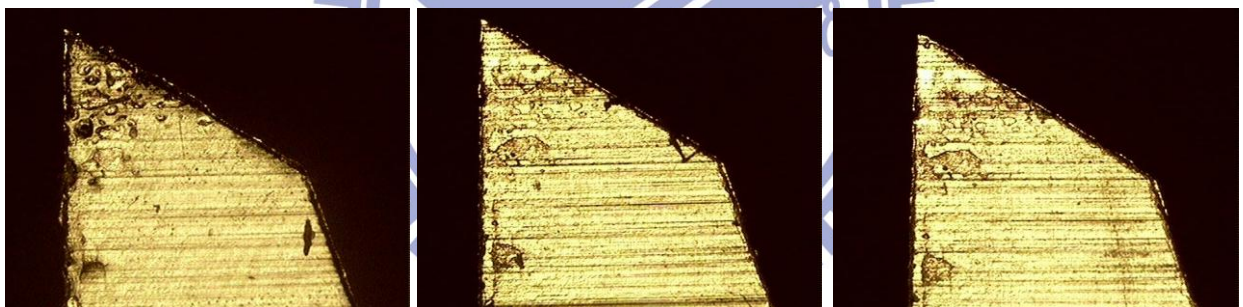


(d) 經過 3 m 磨耗

(e) 經過 4 m 磨耗

(f) 經過 5 m 磨耗

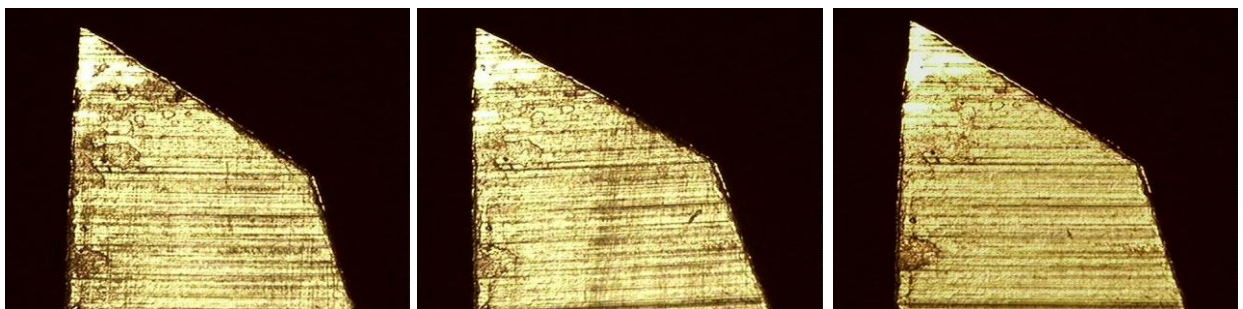
圖 4-44 鋸片經 150°C 回火後磨耗測試 (500x)



(a) 150°C 回火試片

(b) 經過 1 m 磨耗

(c) 經過 2 m 磨耗



(d) 經過 3 m 磨耗

(e) 經過 4 m 磨耗

(f) 經過 5 m 磨耗

圖 4-45 鋸片經 150°C 回火後磨耗測試 (50x)

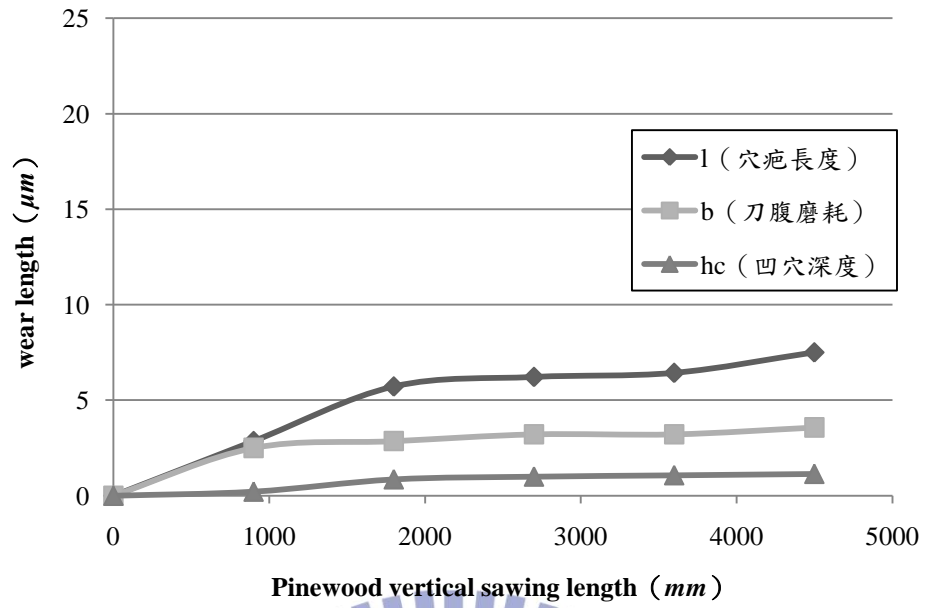


圖 4- 46 高週波淬火後試片磨耗測試數值化結果

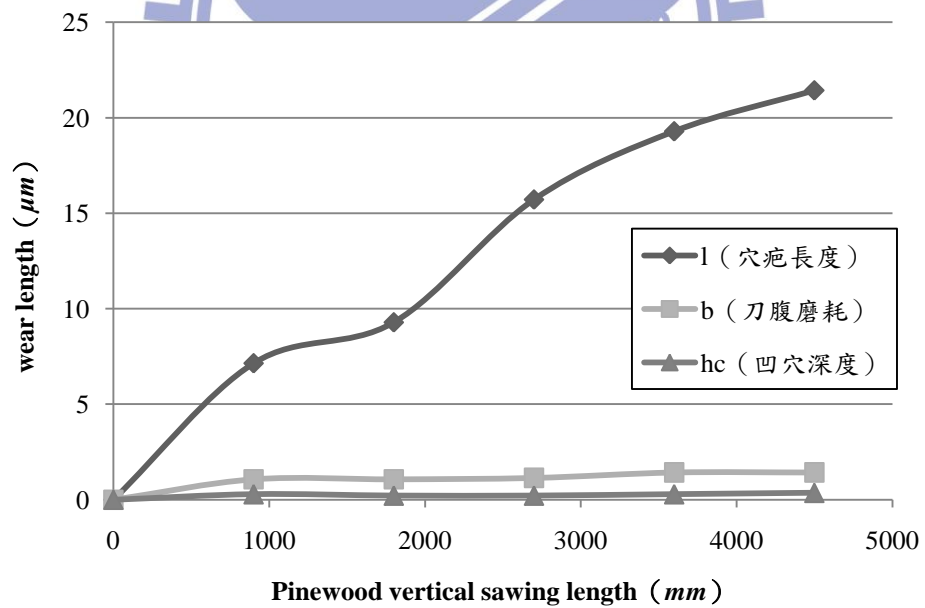
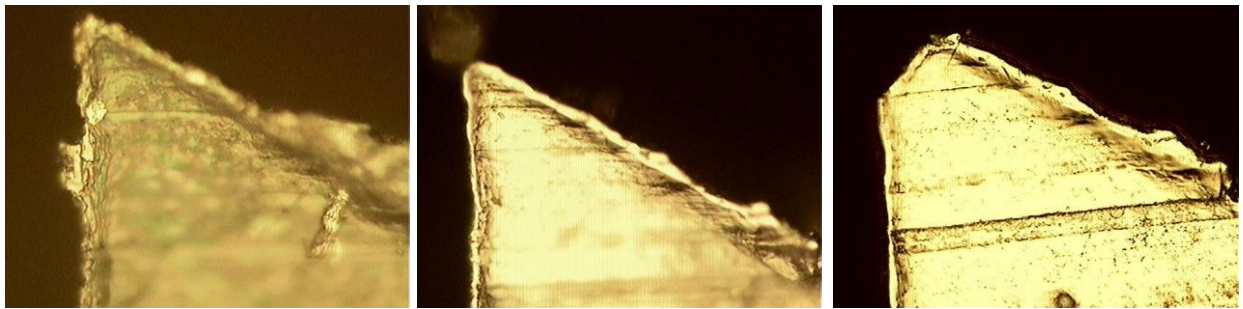


圖 4- 47 高週波淬火及 150°C 回火 30 分試片磨耗測試數值化結果

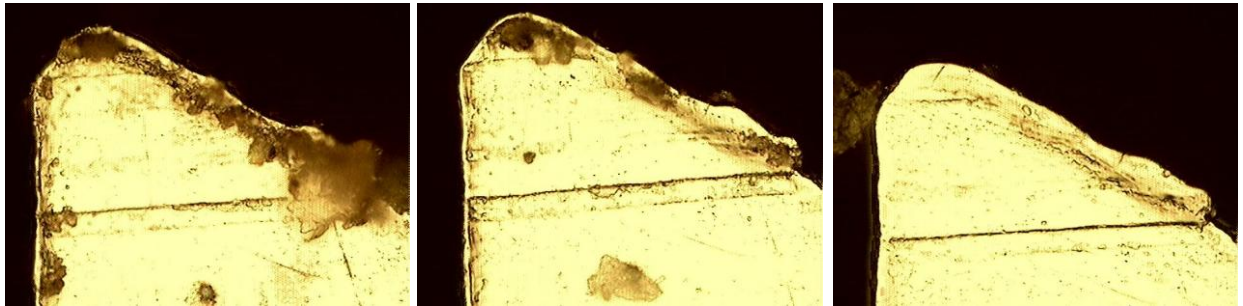




(a) 200°C 回火試片

(b) 經過 1 m 磨耗

(c) 經過 2 m 磨耗

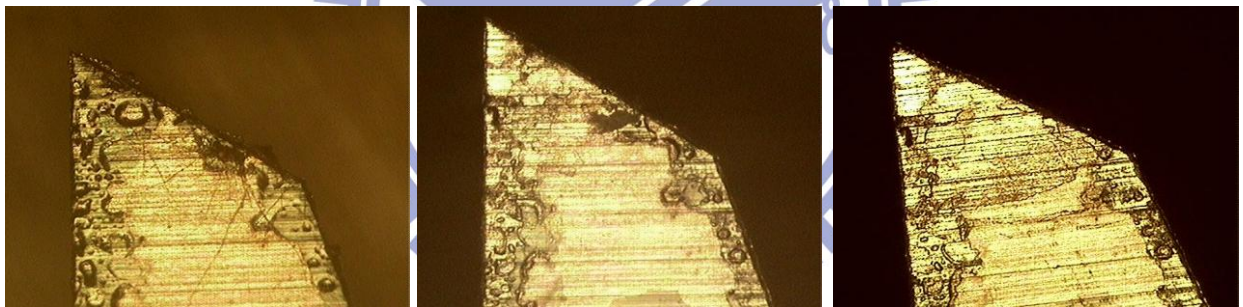


(d) 經過 3 m 磨耗

(e) 經過 4 m 磨耗

(f) 經過 5 m 磨耗

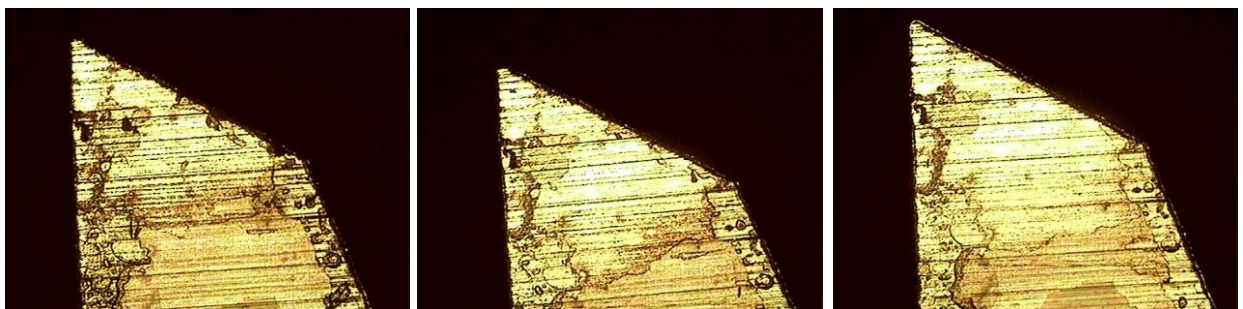
圖 4-48 鋸片經 200°C 回火後磨耗測試 (500x)



(a) 200°C 回火試片

(b) 經過 1 m 磨耗

(c) 經過 2 m 磨耗



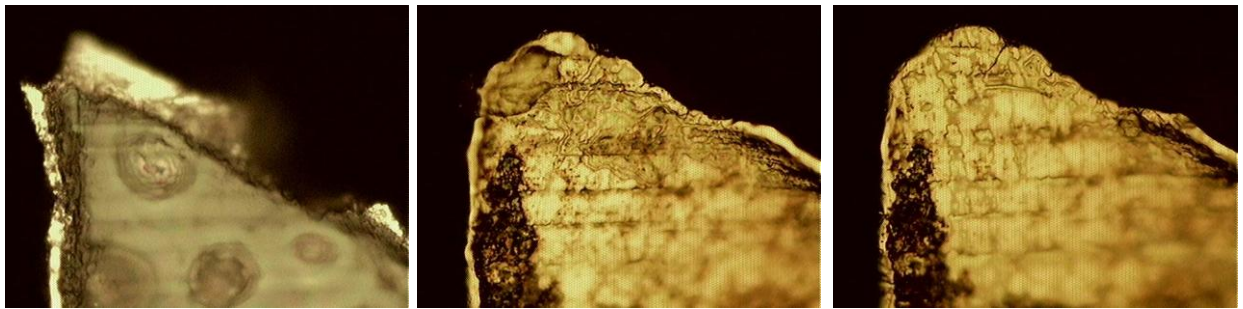
(d) 經過 3 m 磨耗

(e) 經過 4 m 磨耗

(f) 經過 5 m 磨耗

圖 4-49 鋸片經 200°C 回火後磨耗測試 (50x)

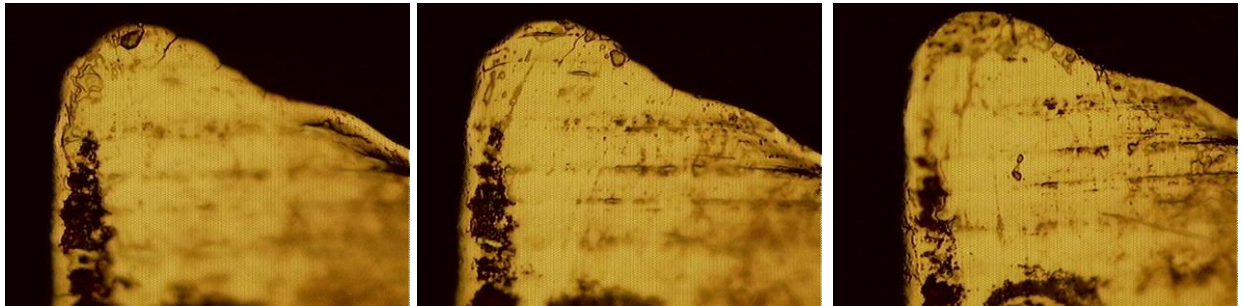




(a) 250°C 回火試片

(b) 經過 1 m 磨耗

(c) 經過 2 m 磨耗

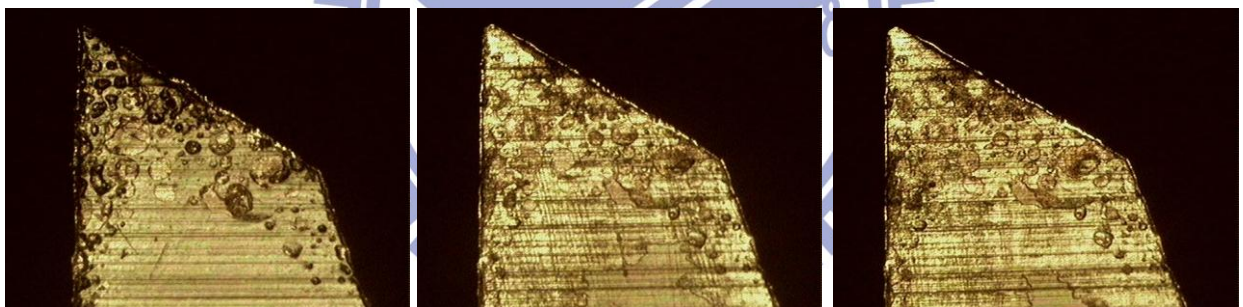


(d) 經過 3 m 磨耗

(e) 經過 4 m 磨耗

(f) 經過 5 m 磨耗

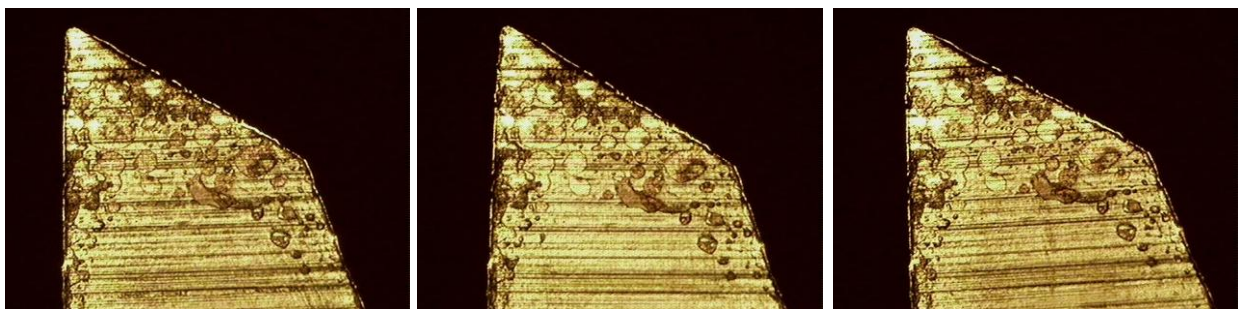
圖 4- 50 鋸片經 250°C 回火後磨耗測試 (500x)



(a) 250°C 回火原試片

(b) 經過 1 m 磨耗

(c) 經過 2 m 磨耗



(d) 經過 3 m 磨耗

(e) 經過 4 m 磨耗

(f) 經過 5 m 磨耗

圖 4- 51 鋸片經 250°C 回火後磨耗測試 (50x)

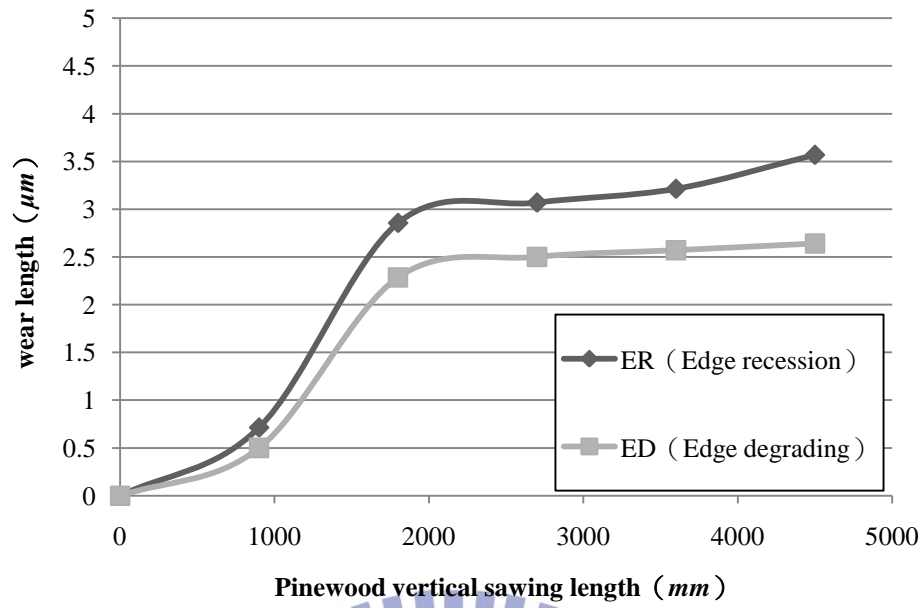


圖 4- 52 高週波淬火及 200°C 回火 30 分試片磨耗測試數值化結果

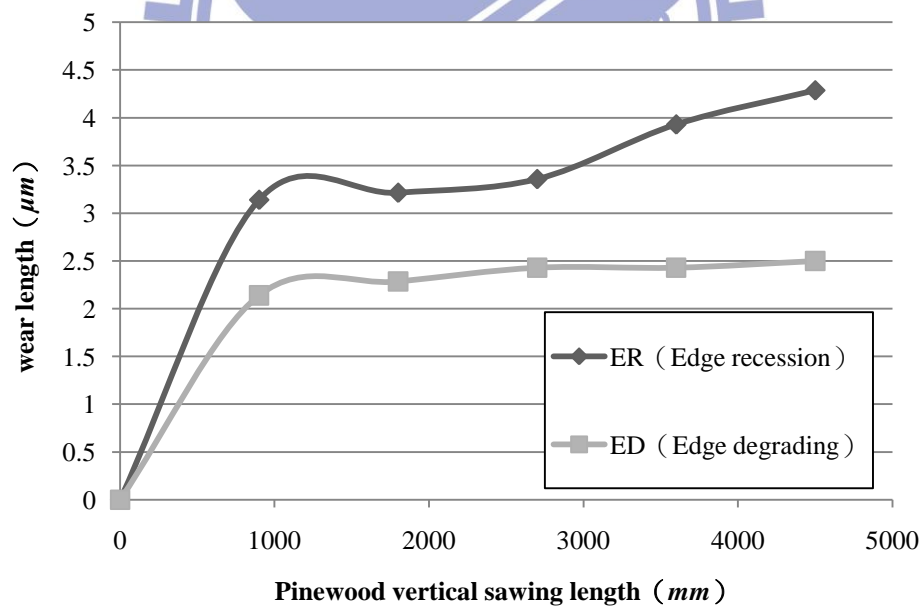


圖 4- 53 高週波淬火及 250°C 回火 30 分試片磨耗測試數值化結果



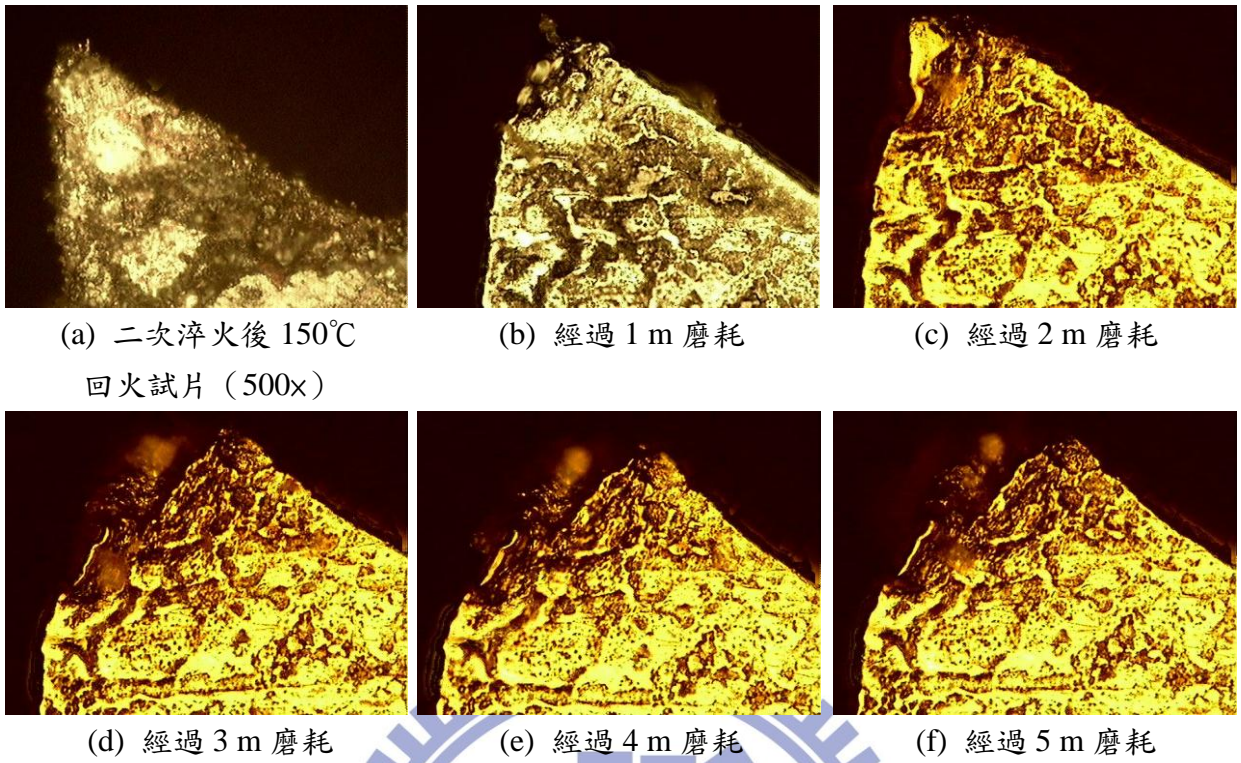


圖 4- 54 鋸片二次淬火後經 150°C 回火磨耗測試 (200x)

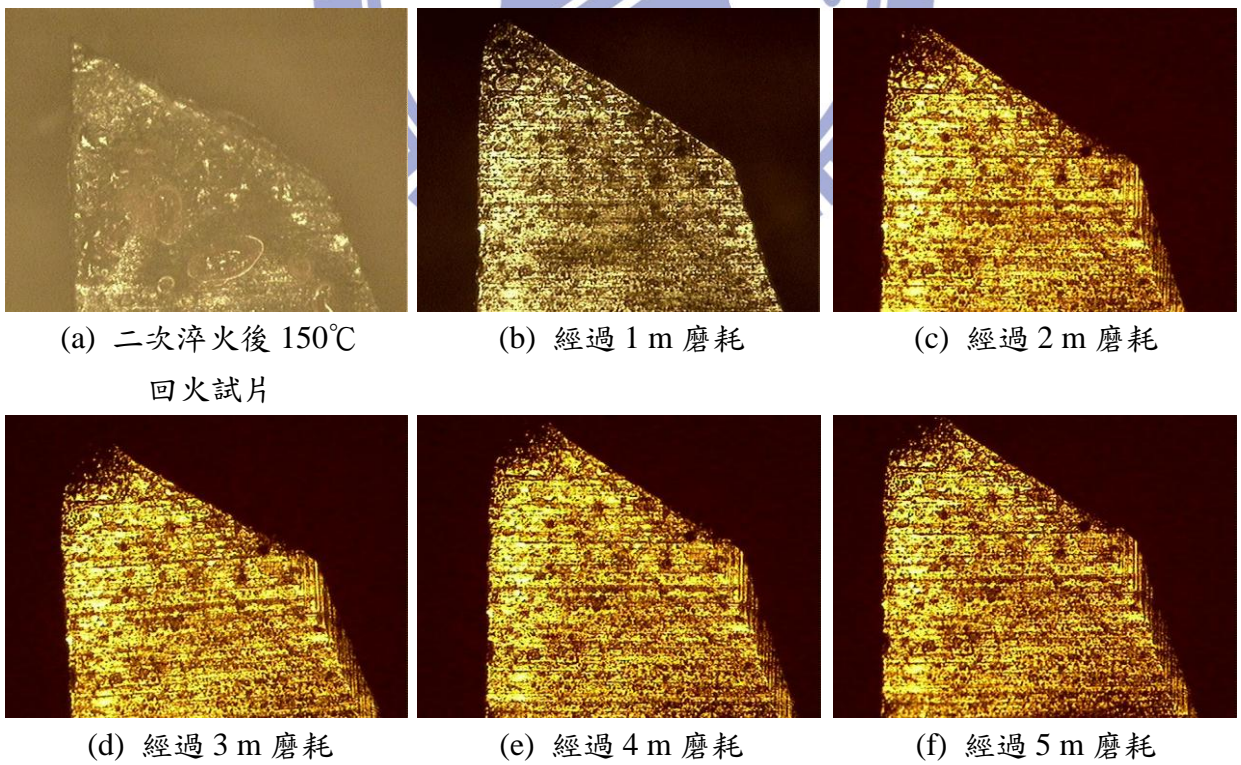


圖 4- 55 鋸片二次淬火後經 150°C 回火磨耗測試 (50x)



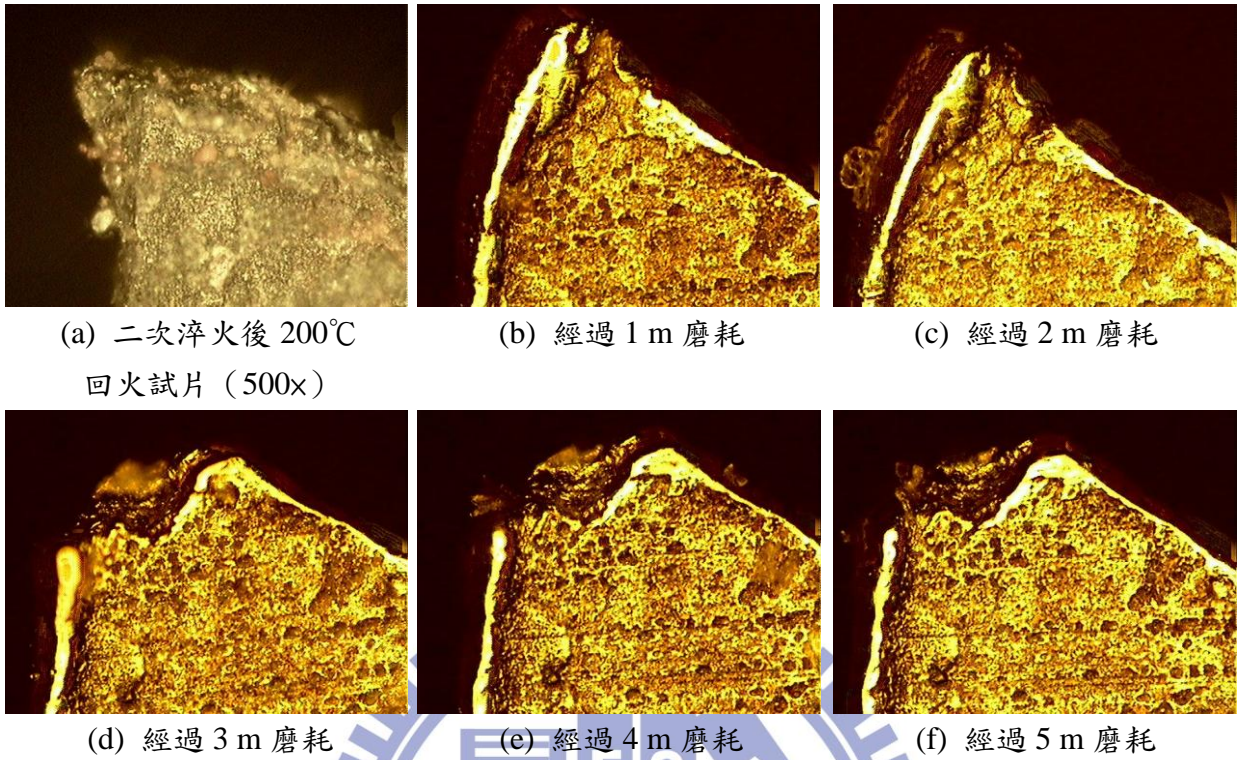


圖 4- 56 鋸片二次淬火後經 200°C 回火磨耗測試 (200x)

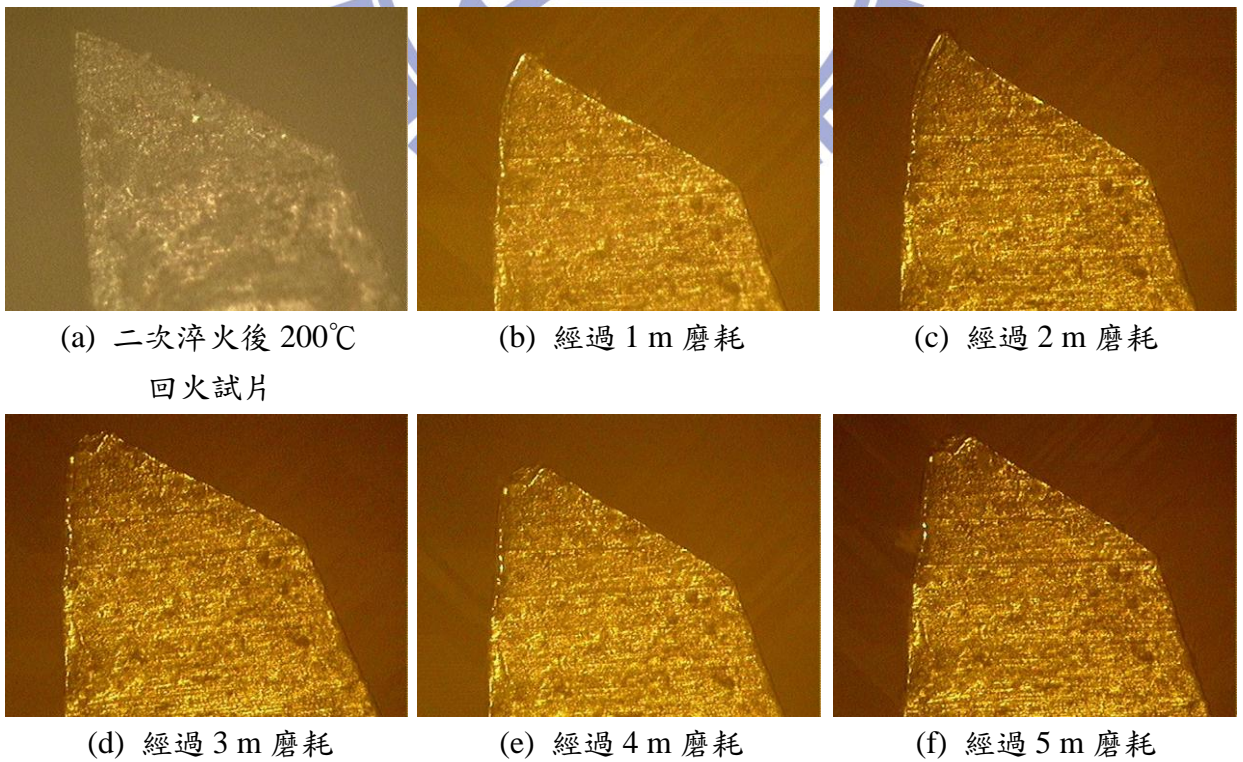


圖 4- 57 鋸片二次淬火後經 200°C 回火磨耗測試 (50x)

## 第五章 結論與未來發展

綜合以上實驗結果之分析與討論，本研究有以下幾點結論：

### 5-1 結論

但由於高週波感應加熱速度快，熱平衡的時間相當短，此時外在環境的影響因素就顯得非常重要。

以 SK5 工具鋼為材料的鋸片，以高週波感應加熱衝風淬火後，前鋒線上的硬度值較後方來的低，易形成磨耗，推測為進行感應熱處理時因接觸空氣導致熱能散溢以及脫碳的影響。之後 150°C 回火 30 分鐘，於前鋒線處有較原試片高的硬度表現，並於磨耗試驗上有較佳的表現，應為內部的碳向外擴散的現象。

二次淬火的爐內持溫時間，受厚度影響，在特定的時間範圍內有較佳的表現值產生，而高週波淬火後所形成的  $\text{Fe}_3\text{C}$  粒狀碳化物，在實施二次淬火時會再次固溶回基地中，讓二次淬火得到的麻田散鐵硬度值提高。但鋸片的硬度值過高，後方沒有較柔軟的材質吸收鋸切時的作用力，會形成齒尖的破裂面，另外在鋸齒內的裂痕也會對鋸齒的破裂產生影響。

對於薄板狀的材料而言，進行整體工件的淬火極可能發生彎曲的情形，或於內部產生裂痕，並在生成麻田散鐵後，常溫之下矯直會有破裂的情況



發生。此時施作部分區域淬火，使用感應加熱淬火法，因加熱範圍小，並可控制向內穿透的深度，但在感應加熱範圍的區域後方，易在此區域產生熱傳遞回火而軟化材料的情形發生。

## 5-2 未來發展

本研究的成果除應用於鋸片外，另有部分可適用於切削刀具、製針、齒輪、軸承等範疇，使用高週波感應加熱進行局部區域的硬化，有相當優良的效果。此外，此作業方法也可應用於滲碳、滲氮等應用上，對於材料機械性質的要求程度更可為精確。

為了增加鋸齒的耐磨耗性，硬度是最重要的因素，因此對於碳工具鋼而言獲得均勻的麻田散鐵組織是最理想的狀態，但由圖 5-1 可知，硬度相同時，其耐磨性不一定相同，對於耐磨耗性來說會顯著受到表面的性質而影響，碳化物的存在為一大重點，又有經過球化處理者更佳，故如何得到精良的耐磨表面，材料的熱處理程序占有著很重要的一部分。

另外還有文獻中提及進行超深冷處理（Cryotough）時，硬度雖然不太會發生變化，但由於殘留的沃斯田鐵會全部轉變為麻田散鐵組織，因而大幅的增加耐磨耗性，關於超深冷處理耐磨耗性的提升請見表 5-1，施予超深冷處理後組織會更為均勻而且細緻化，因此工具可變成更緻密的組織，

這也是同時具有堅硬與韌性的原因，也不容易發生剝落現象，目前部分世界知名的刀具製作廠商所生產的廚房用刀或其他用途之刀具，有進行超深冷處理的步驟，其工具使用壽命較其他廠牌提升了2~4倍之多，相信這也是個可以研究的目標與方向。

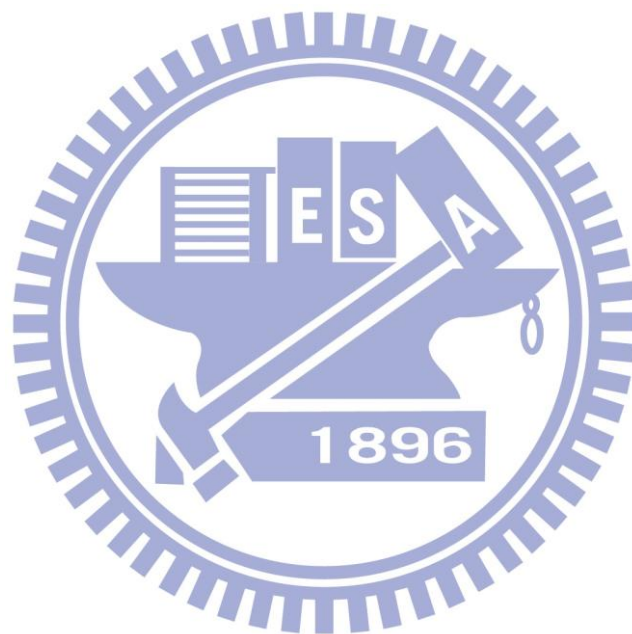




表 5-1 超深冷處理耐磨耗性的提升率[35]

工具名稱	耐磨耗性提升率 (%)
熱作沖頭	600
沖頭	500
開縫刀	400
側面鉸刀	300
旋轉剪切刀	600
切碎刀	250
紙張縱向剪刀	600
壓印模	400
切削工具	400
拉刀	300
木工用手鋸	250
縱向鋸	33
高速鋼螺絲攻	300
焊接用銅電極	200

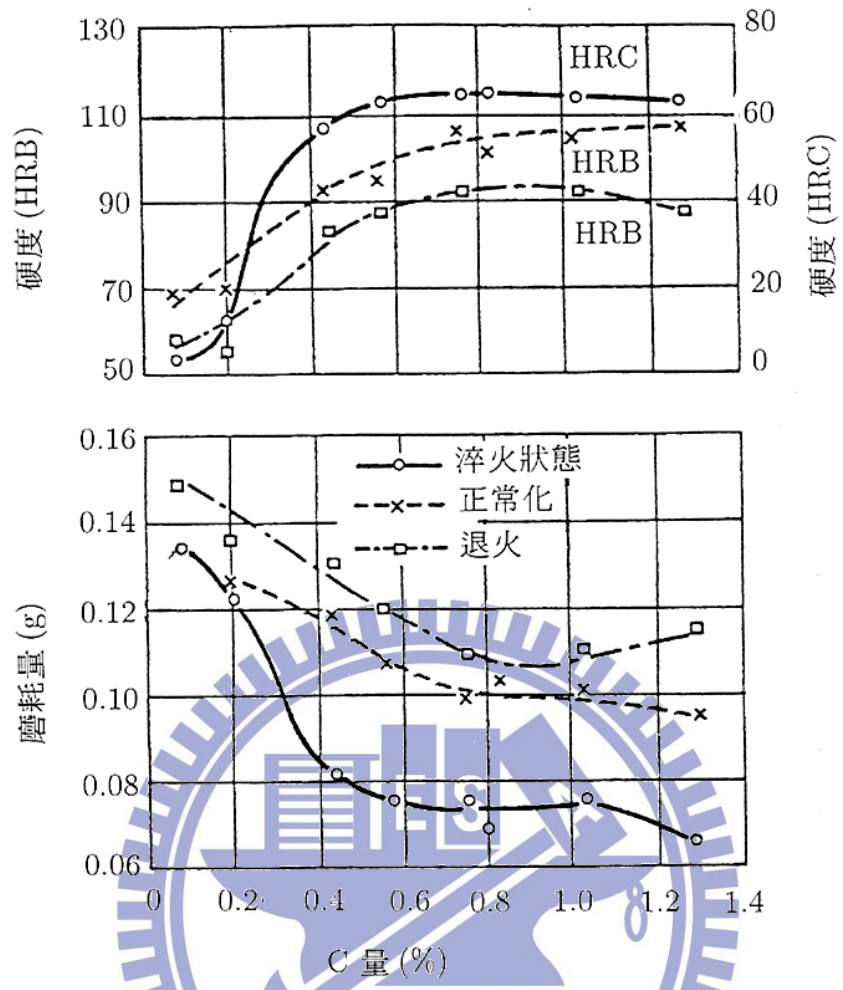


圖 5-1 碳鋼的含碳量和熱處理種類對耐磨性的影響[2]

## 參考文獻

- [1] 陳意維，「雷射硬面處理與高週波感應表面硬化顯微組織特性之比較分析」，碩士論文，機械工程學系，國立成功大學，1997。
- [2] 黃振賢，金屬熱處理，第 18 版，臺北縣中和市，文京圖書，1990。
- [3] 唐嘉祈，「以兩段式淬火法改良碳工具鋼之機械性質」，碩士論文，機械工程學研究所，國立臺灣大學，2001。
- [4] E. Williston, Saws: design, selection, operation, maintenance, Miller Freeman, 1978.
- [5] P. Koch, Wood machining processes, Wood processing series, 1964.
- [6] P. Quelch, Sawmill Feeds and Speeds, Band and Circular Rip Saws, Portland, Armstrong Manufacturing Co., vol. 46, 1972.
- [7] P. J. Thompson, "A theoretical study of the cutting action of power hacksaw blades", International Journal of Machine Tool Design and Research, vol. 14, pp. 199-209, 1974.
- [8] M. Ahmad, B. Hogan and E. Goode, "Effect of machining parameters and workpiece shape on a bandsawing process", International journal of machine tools & manufacture, vol. 29, pp. 173-183, 1989.
- [9] 黃德仁，「高週波感應硬化組織與機械性質之研究」，碩士論文，機械工程研究所，國立成功大學，1987。
- [10] W. Benninghoff and H. Osborn Jr., "Practical Aspects of the Selection of Frequency and Time Cycles for the Processing of Metallic Parts with Induction Heating", Trans. of the Electrochemical Society, vol. 86, pp. 261-264, New York, October 13<sup>th</sup>, 1944.
- [11] 鄭佳祥，「超高頻感應加熱於工件局部熱處理上的應用」，碩士論文，機械工程學研究所，臺灣大學，2004。
- [12] 日本塑性加工学会，もの作り不思議百科—注射針からアルミ箔まで，コロナ社，1992。
- [13] B. S. Institution, "Woodworking saws for hand use", BS 3159-1, British Standard Institution, 1999.
- [14] R. Karen, The complete idiot's guide to woodworking, Alpha Books, 2000.
- [15] L. Lee, The complete guide to sharpening, Taunton Pr, 1996.

- [16] 雇用・能力開発機構職業能力開発総合大学校能力開発研究センター，木工工作法，三版，日本，職業訓練教材研究会，2007。
- [17] A. Bleed, P. Bleed, D. Cochran and M. Riley, "A performance comparison of Japanese and American hand saws", Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting Proceedings, vol. 26, no. 5, pp. 403-407, 1982.
- [18] 中華民國經濟部標準檢驗局，「木工用手鋸總則」，CNS 1096，中華民國經濟部標準檢驗局，1992。
- [19] B. Stetsenko, "Application of double quenching", Metal Science and Heat Treatment, vol. 3, pp. 42-42, 1961.
- [20] O. Zmeskal and M. Cohen, "The Tempering of Two High-Carbon High-Chromium Steels", Trans. ASM, vol. 31, pp. 380-442, 1943.
- [21] C. Roberts, B. Averbach and M. Cohen, "The mechanism and kinetics of the first stage of tempering", Trans. ASM, vol. 45, pp. 576-604, 1953.
- [22] P. Payson, The metallurgy of tool steels, Wiley, 1962.
- [23] G. A. Roberts, G. Krauss, R. Kennedy and R. L. Kennedy, Tool steels, 5th ed., American Society for Metals International, 1998.
- [24] J. Hollomon and L. Jaffe, "Time-temperature relations in tempering steel", Trans. AIME, vol. 162, pp. 223-249, 1945.
- [25] 葉明堂，「SKD-11 模具鋼之熱處理」，碩士論文，機械工程學研究所，國立臺灣大學，1983。
- [26] D. Huffman, "Avoiding Retained Austenite in Tool Steels", Metal Progress, vol. 106, pp. 79-85, 1974.
- [27] P. Payson, "Embrittlement of Tempered Martensite Better Defined", Iron Age, vol. 168, p. 86, 1951.
- [28] 曹永偉，最新機械材料之實用知識，2版第1輯，機械技術出版社，1991。
- [29] B. H. Amstead, P. F. Ostwald and M. L. Begeman, Manufacturing processes, 8th ed., Wiley, 1987.
- [30] J. Nordström and J. Bergström, "Wear testing of saw teeth in timber cutting", Wear, vol. 250, pp. 19-27, 2001.
- [31] S. Garg, Comprehensive workshop technology, manufacturing processes, Laxmi Publications, 2009.



- [32] 佐田登志夫，「超硬切削工具のクレータ摩耗」，日本機械學會論文集，第 25 集，pp. 988-995，1959。
- [33] 綱島正一，熱處理技術與實務，臺北市，中衛發展中心，2003。
- [34] 廖國良，熱處理技術入門，臺北市，建宏出版社，1988。
- [35] 大和久重雄，模具熱處理，歐陽渭城譯，臺北市，全華科技圖書，1993。



# 附錄

## 附表 1 高週波淬火後硬度

456.3	484.9	460.9	447.4	357.6	430.3	808.5	787.7	767.3	797.9	808.5	797.9	757.5	738.5	747.8	738.5	757.5	787.7	745.5	745.7	738.4	753.0	783.7	760.5	775.8	760.5	776.0	799.9	791.5	775.8
489.8	492.5	489.9	473.3	460.9	449.0	434.5	414.1	767.3	841.6	865.0	808.5	830.6	853.2	841.6	841.6	830.6	830.6	842.4	851.1	833.6	842.4	816.4	851.4	833.6	842.4	851.1	851.4	833.6	
495.0	505.3	496.3	494.9	484.2	470.2	453.2	447.3	451.8	422.0	433.0	434.5	438.7	410.2	422.1	451.9	630.4	767.6	842.4	851.1	833.6	842.9	869.5	878.6	869.5	842.4	860.2	842.4	799.7	
489.9	484.4	494.9	496.4	510.8	476.9	460.9	479.9	470.2	453.9	438.7	447.4	434.5	430.3	438.8	443.0	406.3	422.0	412.3	444.2	612.5	833.6	888.1	888.1	869.5	833.6	860.5	824.9		
474.1	447.4	480.5	484.9	489.1	465.6	472.9	490.1	485.1	484.8	460.8	460.9	460.9	460.9	430.3	430.3	430.3	422.0	409.3	415.3	409.3	585.9	851.1	869.5	842.4	860.5	842.4	816.4		
484.9	485.8	494.9	495.1	495.1	479.0	475.0	485.1	495.1	488.7	489.9	460.9	460.9	465.5	447.4	443.0	426.1	418.1	412.3	427.8	412.3	580.8	842.4	860.2	851.4	860.5	816.6			
500.3	516.0	499.1	505.4	492.6	480.1	478.8	480.1	491.4	484.9	470.3	465.6	460.9	456.3	451.8	430.3	443.0	414.0	421.6	424.6	524.7	833.6	860.2	860.5	860.5	833.6				
500.1	488.1	479.9	495.2	489.9	487.6	479.9	495.4	505.4	491.3	484.8	484.8	475.2	447.3	447.3	438.8	418.1	414.0	409.3	525.8	888.1	824.9	816.6	816.4						
483.7	456.3	484.2	505.4	495.1	500.3	499.2	516.1	499.1	489.9	489.9	500.0	443.0	447.3	447.4	438.8	434.5	418.0	783.9	833.6	824.9	824.9								
494.8	485.3	495.1	492.6	484.9	493.8	500.3	488.3	484.9	477.7	475.2	465.6	451.8	451.8	430.3	410.2	505.4	819.4	825.2	799.9										
495.0	495.1	491.2	484.8	492.6	489.7	486.8	451.9	471.9	460.9	480.1	456.3	443.0	418.1	430.3	777.4	819.4	767.6												
495.1	491.2	489.9	490.1	510.8	495.3	505.4	486.9	489.8	477.7	470.3	443.0	430.3	443.0	830.2	841.9														
477.2	484.8	482.4	475.0	492.9	475.2	495.3	500.3	488.8	489.9	475.2	406.3	720.3	841.9																
451.8	476.6	479.9	494.1	510.6	494.0	500.1	505.4	475.2	456.3	406.4	819.4																		
469.1	489.9	491.4	510.8	500.3	489.9	475.2	426.1	434.5	348.4																				
465.5	489.2	484.9	480.1	490.1																									
470.5	516.3	470.5																											

附表 2 Shark Saw 鋸齒硬度

581.8	544.6	568.9	556.5	556.5	532.9	495.6	480.1	465.2	451.1	447.6	444.2	440.9	447.6	440.9	437.6	418.4	412.3	383.7	375.6
569.1	562.8	561.5	575.5	566.0	562.8	556.4	570.9	561.2	537.9	542.5	524.7	507.8	495.6	472.6	487.7	465.2	447.6	424.6	300.0
562.8	553.7	538.7	566.3	569.1	588.7	538.1	561.2	551.7	570.9	556.4	547.0	516.1	512.0	512.0	503.6	476.3	468.9	431.0	
565.1	550.4	558.5	582.0	570.8	569.1	542.5	575.8	565.9	566.1	565.9	561.2	533.4	516.1	516.2	499.5	487.7	465.2		
582.0	566.1	562.8	569.2	562.8	562.8	556.4	580.9	575.7	570.9	580.8	565.9	561.2	551.8	512.0	491.6	483.9	451.1		
575.5	569.1	569.1	569.1	566.0	569.1	551.7	556.4	586.0	561.2	580.9	570.9	575.8	524.7	516.2	499.5	461.6			
575.5	570.7	575.3	572.3	562.8	582.0	547.0	551.7	580.9	556.4	547.0	547.0	551.7	520.5	499.5	468.9	424.6			
573.4	562.8	573.9	581.8	563.2	539.1	547.1	561.2	556.4	565.9	551.7	537.9	499.5	483.8	362.9					
581.8	572.3	575.5	572.3	569.1	575.5	542.5	561.2	551.7	551.7	507.8	424.6								
573.3	569.1	566.0	562.8	562.8	556.5	561.2	551.7	507.8											
569.1	566.0	556.5	561.2	562.8	556.5	512.0													
573.3	569.1	556.5	562.8	521.7															
581.8	556.5																		

附表 3 高週波淬火及 150°C 回火 30 分鐘後空冷硬度

787.7	797.9	819.4	830.6	787.4	841.9	777.4	808.5	797.9	865.0	819.4	798.2	777.4	797.9	808.5	819.4	808.5	830.6	830.6	777.4
544.4	666.4	853.2	757.3	889.0	766.8	901.6	804.9	914.4	865.7	841.6	845.5	877.0	851.2	876.7	853.6	853.2	841.8	841.6	
503.2	470.2	564.9	456.3	557.9	434.5	594.7	595.2	696.4	841.6	759.5	865.0	853.7	853.2	862.0	865.0	844.8	841.6	819.4	
495.1	486.3	479.9	468.2	451.8	445.3	447.4	483.4	434.5	549.1	489.9	666.1	819.4	853.8	853.2	850.7	819.4	841.6		
503.8	500.1	488.7	484.9	463.6	447.4	450.7	456.3	442.1	430.2	455.1	489.9	734.4	889.4	862.4	865.0	833.9	797.9		
516.3	505.6	489.8	483.7	470.3	457.6	451.8	449.6	447.4	431.6	410.2	611.9	738.8	830.9	841.9	859.2	853.2			
519.9	516.1	500.3	489.9	472.9	460.9	453.0	443.0	442.0	438.7	627.7	808.5	810.6	853.5	865.0	876.7	748.3			
527.3	513.6	505.4	491.4	470.3	458.7	456.3	449.7	438.7	658.1	853.2	830.7	841.6	819.4	609.1					
516.3	505.4	500.2	500.1	466.3	447.4	443.9	460.8	675.7	901.6	819.4	819.4								
516.3	501.6	489.9	472.3	447.3	545.7	411.1	853.2	901.6	777.4										
503.8	494.9	468.8	451.8	646.2	877.0	865.0													
500.1	550.3	438.7	864.6	808.5															
465.6	767.6																		

附表 4 高週波淬火及 200°C 回火 30 分鐘後空冷硬度

748.0	738.5	738.5	757.7	702.5	711.3	720.0	729.2	729.5	729.2	729.5	711.3	702.5	729.2	729.5	729.2	720.3	720.3	720.0	720.0
443.0	522.8	434.5	537.6	510.6	602.4	757.5	665.2	748.0	691.2	787.4	797.9	763.8	777.4	760.5	777.4	755.8	757.7	729.2	
472.7	475.0	460.5	447.4	467.1	430.3	516.4	426.1	527.2	500.1	653.3	678.4	777.4	760.5	757.7	770.0	767.6	765.1	757.7	
500.1	492.7	484.9	479.4	479.9	451.3	451.8	437.8	434.5	444.7	422.0	484.9	616.7	729.5	763.0	777.4	785.5	777.4	757.7	
516.5	510.8	502.9	505.4	477.1	443.0	448.6	438.7	434.6	422.0	414.1	450.0	475.0	689.9	787.4	808.5	819.4	760.8		
538.7	515.1	510.6	496.5	479.9	465.9	460.9	448.6	443.0	429.4	430.3	426.1	619.3	767.6	767.6	752.4	748.0	685.6		
518.3	500.1	500.2	489.9	486.2	479.9	462.2	451.8	433.8	422.1	430.3	610.6	808.5	787.4	767.6	685.3				
516.1	511.0	500.3	493.8	495.1	471.9	456.3	438.1	418.1	587.4	711.3	777.4	736.4	623.3						
518.1	527.3	507.1	489.9	474.4	456.3	441.2	426.1	562.8	798.2	787.7									
510.8	517.7	510.8	476.1	456.3	463.7	426.2	797.9	767.3											
519.9	521.7	487.5	447.3	443.0	516.1	748.0													
527.1	491.6	470.3	418.1	720.3															
489.9	447.3																		

附表 5 高週波淬火及 250°C 回火 30 分鐘後空冷硬度

677.2	677.0	661.0	645.3	645.3	630.4	602.1	595.2	623.1	693.8	677.0	661.0	661.0	669.0	677.2	661.0	653.1	623.3	601.9	669.0
702.5	649.5	757.5	642.7	729.2	643.3	738.5	705.1	757.5	734.6	729.2	712.3	720.3	719.1	729.2	699.0	685.6	672.2	677.2	
547.8	460.9	535.5	438.7	522.6	475.0	598.7	729.2	757.7	757.7	710.4	738.5	743.6	757.7	738.8	720.3	702.7	702.5	685.3	
479.9	484.1	484.9	456.8	447.3	459.9	451.9	509.4	426.1	555.5	616.0	657.1	757.7	748.2	748.0	729.7	702.5	702.5		
497.0	510.8	485.5	456.3	462.2	465.5	449.9	430.3	427.2	422.0	494.0	516.1	678.7	729.5	741.1	748.0	718.7	685.6		
500.3	503.0	489.9	474.1	479.8	462.2	451.8	438.9	430.3	430.4	422.0	561.2	711.3	727.3	738.8	736.5	738.8			
510.9	510.8	491.5	470.2	469.2	451.8	450.7	443.0	437.8	447.4	550.8	595.4	696.1	729.5	706.6	720.3	677.2			
521.7	508.2	494.9	478.8	475.0	458.7	456.3	442.1	430.3	586.4	738.5	696.2	748.0	720.3	637.9					
514.5	505.4	492.6	475.0	463.4	451.8	474.3	438.8	582.0	729.5	738.8	702.7								
516.3	502.9	494.9	465.1	451.9	545.9	550.4	720.3	729.5	653.3										
500.4	495.1	464.8	438.7	574.3	729.5	729.5													
489.9	487.1	430.3	748.0	677.2															
451.8	532.9																		



附表 6 高週波淬火及 800°C 持溫 15 秒二次水淬火硬度

441.6	477.9	465.7	478.0	426.0	454.5	436.8	467.9	495.2	532.9	543.6	547.4	545.4	544.4	545.5	547.7	546.8	541.9	539.7	544.4
446.8	429.6	421.5	430.9	431.8	458.8	460.9	454.5	484.9	510.8	550.4	532.5	544.4	538.4	544.4	551.0	550.9	542.5	532.9	
438.8	446.6	463.2	434.8	423.5	444.7	452.7	458.0	464.2	475.0	484.8	487.8	495.7	520.5	547.1	560.9	557.9	544.4	550.4	
470.8	444.6	447.4	443.8	438.7	446.3	447.4	449.6	438.7	445.0	426.1	443.6	430.3	502.9	562.8	567.1	575.5			
461.7	463.5	453.7	454.3	452.1	454.3	456.6	454.3	448.5	440.1	432.7	430.3	447.3	498.1	549.8	569.1				
465.6	428.0	470.2	456.7	460.9	477.9	470.2	452.5	460.9	445.2	434.5	432.4	430.3	512.8	569.1					
431.9	453.9	443.0	456.0	478.5	463.8	458.8	464.5	454.5	445.4	438.2	434.4	527.1	520.0	527.1					
431.7	465.9	448.1	439.3	444.6	457.1	479.4	452.5	447.4	443.2	438.7	455.1	512.8	512.8	512.8					
434.0	445.5	475.2	440.4	438.9	449.9	429.2	451.1	444.5	441.4	438.2	434.5								
469.6	451.7	432.7	452.0	436.2	461.0	439.2	446.6	438.2											
458.4	447.0	426.2	430.5	455.7	426.1														
453.2	424.1	432.4																	
432.5	447.4																		

附表 7 高週波淬火及 800°C 持溫 30 秒二次水淬火硬度

436.6	454.5	464.3	438.7	439.1	438.7	460.4	489.8	441.6	447.4	437.8	438.8	432.7	434.5	424.0	437.4	438.8	358.7	285.7	384.3
462.2	480.1	489.8	456.9	439.8	441.4	452.6	457.2	438.8	431.0	436.8	432.7	431.0	418.8	398.8	396.4	379.6	351.5	354.7	
466.2	470.3	463.8	447.4	440.1	434.5	443.6	447.4	440.2	442.0	441.0	434.5	443.1	438.8	427.7	438.8	348.5	422.1	402.5	
434.5	447.8	447.8	442.1	438.8	438.0	439.9	440.1	434.5	442.0	447.4	442.0	447.4	429.9	434.5	436.7	391.5	428.3		
438.1	438.8	480.1	434.5	437.7	438.7	439.3	438.8	440.2	440.9	435.9	438.7	420.9	398.8	416.7	418.8	373.7	410.5		
452.7	467.8	452.6	443.3	438.8	438.0	439.9	444.5	447.4	440.5	433.1	423.1	398.8	415.0	416.7	418.8	373.7			
441.0	489.8	469.2	447.4	457.2	434.5	443.6	447.4	444.5	438.8	443.1	447.4	431.2	447.4	441.0	443.1	398.0			
452.3	468.7	460.5	459.7	460.5	459.4	452.6	445.4	443.1	441.6	438.7	443.1	418.8	443.1	436.6					
446.6	434.5	447.9	470.3	454.8	489.8	459.9	438.7	449.9	447.4	443.1	447.4								
447.4	456.2	453.1	456.0	461.6	464.4	458.6	455.0	470.3											
454.8	489.8	457.3	438.8	449.3	447.4														
434.5	451.6	447.4																	
447.4	434.5																		

附表 8 高週波淬火及 800°C 持溫 1 分二次水淬火硬度

890.9	926.8	893.1	907.1	895.1	925.8	896.5	912.0	905.6	900.7	919.4	912.9	897.0	920.2	893.3	889.0	876.7	896.7	841.6	830.2
917.5	924.3	927.8	911.4	905.9	894.6	903.3	919.8	907.2	919.5	914.8	917.4	916.7	892.8	894.0	902.4	895.6	881.8	901.6	
914.3	894.2	919.5	925.4	915.7	889.7	908.1	912.2	911.2	892.7	913.3	906.5	906.6	893.0	902.6	905.1	894.5	890.8	876.7	
905.1	901.6	936.8	940.5	920.5	914.4	910.0	901.6	902.2	901.6	905.5	914.4	906.0	901.6	907.0	914.4	905.3	876.7		
902.4	902.4	915.7	928.4	923.7	916.1	906.2	914.2	899.0	914.0	906.2	920.0	908.3	908.5	904.6	896.3	895.4	911.6		
897.0	901.6	911.0	919.8	918.5	917.4	924.6	889.8	913.0	902.6	911.4	904.1	919.8	911.5	910.7	890.2	915.8			
925.9	893.5	901.8	911.1	914.6	917.1	925.0	923.4	922.4	904.1	897.9	905.7	894.1	925.1	915.4	925.1	916.7			
911.5	877.0	892.6	907.6	916.5	925.2	899.4	907.1	914.2	911.4	917.7	895.6	904.3	902.8	926.2					
917.4	885.7	893.9	911.2	914.9	917.5	903.0	925.0	905.1	904.7	921.1	914.4								
923.8	889.0	894.8	901.6	906.3	927.5	922.9	915.5	889.5	913.9										
904.2	899.2	898.2	909.8	907.9	897.8	892.4													
923.3	901.2	898.5	899.0	916.0															
898.9	922.6																		

附表 9 高週波淬火及 800°C 持溫 2 分二次水淬火硬度

857.5	851.7	847.5	830.2	851.1	848.5	848.5	845.3	849.1	808.5	857.2	867.7	841.9	853.5	865.0	847.8	830.6	864.9	889.4	876.7
850.4	864.6	840.0	838.1	864.6	850.7	830.2	864.6	841.1	841.7	858.3	871.6	873.1	875.6	871.9	861.5	860.0	874.6	889.0	
853.3	847.6	836.1	836.2	841.9	851.3	858.9	853.4	836.6	833.4	855.2	886.3	873.3	876.3	873.7	867.1	876.7	882.4	901.6	
865.0	841.6	836.1	830.6	841.9	853.2	858.9	864.6	836.6	808.5	855.2	901.9	901.8	901.6	889.2	876.7	874.7	876.7		
858.5	845.8	854.0	862.3	862.8	858.6	853.3	849.8	851.2	857.7	869.3	883.1	895.8	900.2	889.0	871.9	868.9	872.8		
864.6	841.9	868.9	901.9	881.5	865.3	855.9	830.2	867.5	901.6	875.4	865.3	888.3	914.4	885.6	853.2	854.7			
850.8	857.7	877.9	833.5	895.9	883.6	874.8	862.3	887.0	862.3	847.4	889.4	877.8	891.8	885.7	819.4				
830.2	853.2	875.6	914.4	894.0	901.9	892.9	901.9	901.1	914.4	819.4	841.9	869.7	889.4						
824.8	841.4	857.1	866.4	863.8	855.2	898.9	898.6	905.8	808.5	814.0	827.9								
819.4	830.6	823.1	830.2	819.4	808.5	884.2	901.1	871.0	842.8										
853.2	824.4	808.5	824.2	819.4															

附表 10 高週波淬火及 800°C 持溫 30 分二次水淬火硬度

889.4	940.5	798.2	889.7	830.9	865.3	914.8	889.4	877.4	914.8	914.8	889.4	940.5	860.3	936.7	830.8	871.1	913.8	936.7	870.5
940.9	972.3	996.7	974.0	982.5	946.2	954.6	948.6	968.2	969.2	1011.2	955.9	954.6	960.4	1036.6	871.1	936.7	914.4	984.4	
973.4	1011.2	1004.2	1026.9	1004.6	982.5	964.9	982.1	989.8	982.5	979.0	968.2	914.4	960.4	960.4	985.1	913.8	871.1	936.7	
968.2	989.6	982.1	1000.9	1026.4	979.4	940.5	990.1	1026.4	976.0	954.2	968.2	982.1	960.4	1036.6	891.8	936.7	892.4		
997.1	996.7	978.8	968.2	997.3	968.2	968.5	1011.2	997.5	940.9	951.1	968.2	940.9	913.8	1010.0	871.1	892.4			
1026.4	989.9	968.2	982.8	1026.4	982.8	954.2	1000.9	1011.6	955.2	940.9	951.1	940.9	914.4	914.4	871.1	984.4			
1001.9	968.2	979.1	968.2	986.3	982.5	986.4	1026.4	979.9	927.5	982.1	954.2	943.9	936.7	913.8					
1011.2	993.4	1011.6	989.9	968.2	978.8	982.5	954.6	954.2	914.4										
996.8	982.5	1000.6	1011.6	975.6	982.1	968.2	819.8												
996.7	982.5	996.7	982.5	940.5															
982.5	954.2	975.5	954.2																

附表 11 高週波淬火及 800°C 30 分二次淬火 150°C 回火 30 分硬度

865.0	858.7	830.2	845.5	830.6	765.6	630.6	773.8	841.9	852.7	830.2	856.7	865.0	863.2	830.2	881.7	914.4	925.8	954.2	995.8
891.0	881.0	872.2	875.8	870.7	835.7	813.9	848.8	889.7	885.9	870.1	874.8	887.2	894.5	898.4	900.6	903.3	908.7	830.2	
927.1	908.9	901.6	910.9	940.9	913.7	940.5	929.9	982.1	921.3	889.4	897.0	914.4	926.5	968.2	919.4	889.4	891.6	876.7	
931.1	925.8	921.7	925.2	932.1	937.8	942.9	948.1	945.6	927.8	910.4	909.4	917.8	928.9	948.6	934.0	911.7	901.6		
940.5	933.2	934.1	927.2	924.4	935.5	945.4	938.4	924.6	923.0	915.0	915.5	918.6	878.7	913.6	923.8	917.7			
938.0	932.5	926.5	925.1	927.9	934.5	939.1	935.5	928.9	924.5	921.5	919.0	865.8	864.6	889.1	906.5				
940.9	930.9	914.4	923.4	927.5	934.2	940.9	935.7	931.0	927.7	927.5	819.8	845.0	849.3						
943.7	936.0	927.9	926.8	929.7	933.8	936.5	935.3	933.2	930.5										
954.2	946.2	934.3	933.1	930.9	933.5	935.9	934.9	933.4											
970.4	960.2	947.7	940.6	938.4	936.0														
996.7	970.8	955.6	945.9	941.5															

附表 12 高週波淬火及 800°C 30 分二次淬火 200°C 回火 30 分硬度

757.7	760.1	757.7	760.1	757.7	748.3	729.2	728.7	720.3	671.7	608.9	612.2	575.5	647.8	702.5	693.8	702.5	685.3	608.9	630.4
766.7	765.0	763.8	765.0	764.5	757.9	747.7	736.6	718.1	686.0	658.1	652.1	657.9	665.5	666.6	653.3	674.0	777.4	630.6	
777.4	771.8	767.3	766.6	777.4	763.5	767.3	743.2	729.5	695.5	685.3	692.0	738.5	688.3	645.3	632.1	562.8	668.5	622.8	
777.4	777.5	772.3	756.6	744.8	751.5	756.4	739.4	710.9	681.1	668.7	692.3	716.0	703.9	679.7	667.1	674.7	711.1		
777.4	781.3	787.7	748.0	693.8	729.4	767.3	719.4	693.6	670.4	616.0	687.9	729.2	715.2	702.5	709.1	757.7	538.7		
782.6	782.6	775.4	754.1	727.6	705.2	687.9	677.1	676.8	690.9	707.4	714.1	717.8	725.4	734.4	742.5				
787.7	777.1	777.4	759.9	757.5	691.4	602.1	643.9	645.5	716.7	808.5	741.7	702.5	731.7	767.3					
785.6	760.7	739.4	750.5	751.8	700.8	649.8	651.1	682.4	721.8										
808.5	748.4	669.0	728.6	798.2	714.8	645.3	669.2	711.3											
783.8	755.6	719.7	696.8	747.5															
787.4	767.0	757.5	672.3	562.6															
770.8	767.5																		
757.5																			

附表 13 高週波淬火及 800°C 30 分二次淬火 250°C 回火 30 分硬度

720.3	719.6	711.3	728.0	747.8	739.4	738.5	740.7	738.0	722.8	693.8	732.5	767.0	750.5	738.8	733.0	726.8	723.0	720.3	720.0
728.7	727.2	725.5	725.0	726.8	731.8	738.6	745.5	746.8	736.7	728.8	736.8	747.0	745.7	739.1	733.3	727.8	721.9	738.5	
738.5	734.5	738.5	719.4	702.5	722.2	738.5	747.4	767.0	749.4	748.0	740.5	738.5	739.2	738.5	732.1	729.2	719.2	711.3	
740.1	734.0	723.8	711.5	706.0	716.0	736.3	738.7	742.8	745.7	745.0	738.7	732.9	734.0	734.5	727.2	718.3	714.3		
747.8	728.9	711.3	709.4	693.8	714.4	729.2	724.8	720.0	733.5	747.8	734.1	720.3	730.0	738.5	721.4	702.5	708.4		
727.2	722.6	718.8	720.8	722.7	718.6	713.3	711.4	713.6	720.4	727.2	729.5	728.8	727.1	723.5	717.4				
711.1	720.3	720.3	736.2	757.7	727.3	693.8	707.1	702.5	725.5	711.3	726.4	738.5	725.6	711.1					
725.6	727.1	732.9	745.9	752.5	739.3	723.1	720.7	734.7	767.7	739.5									
738.5	734.5	738.5	746.4	767.0	748.3	738.5	735.7	747.8											
730.8	733.9	729.5	734.2	740.4	744.3	741.4													
720.0	721.7	711.3	721.8	720.0															