

摘要

由於現在的加工技術逐漸趨向超高速、高精密加工，而要能使刀具能夠運用在超高速加工上，刀具必須有優良的切削狀況和良好的排屑狀況以及刀具的高耐磨度。影響這三個狀況的條件在於，刀具的各種角度上的設計、排屑槽的設計、鍍層的種類…等。所以本專題是要透過各種參數的比較，並找出最有利於超高速加工之參數。

本專題使用 Master CAM 繪出圖形並轉出程式，利用電腦數值控制(Computer Numerical Control)搭配高速主軸、電子扭力板手(設定值為 30Kgf.cm)、冷凍槍、掃描式電子顯微鏡(SEM)...等。搭配室溫(20°C)，相對溼度 45%~55%，本專題實驗不使用切削液，改採用冷凍槍裝置，冷凍槍可將壓縮空氣轉換成低溫度的空氣，並將溫度降低與切削液降低溫度的功效是相同的。因為使用切削液會將專題所需的切屑沖走，造成本專題切削之切屑蒐集困難，及造成工件及環境污染，影響電子零件之精確度，而切屑會隨著循環切削液的作用下，刮傷表面，造成本專題所需的工件表面判斷上的誤差，導致切屑式樣採集的錯誤性。

本專題係使用三種材質之 $\phi 2\text{mm}$ 球刀(AlTiN、AlTiN +PLC、裸刀)銑削三種不同材質的材料(低碳鋼、不鏽鋼、鈦合金)，銑削深度為 0.03 mm，並在銑削過程中蒐集所切削之切屑，再把這些切屑放置掃描式電子顯微鏡中觀察切屑之表面粗糙狀況，測試三種不同鍍層之球刀其切屑形狀來進行切削時大小的數值，並探討不同的刀口幾何與不同刀具角度(切削角、切槽角...)在切削時所承受的力量大小與工件表面優異性。

本專題實驗結果發現以加工素材來說皆以切削鈦合金(Ti6A14V)之切削面為最佳，次為低碳鋼，後則為不鏽鋼。以刀具來說大多以球刀 C(裸刀)之切屑面較佳，但背面皺摺甚多，呈現不規則狀態，表示球刀 C(裸刀)擠壓力過大，而不是切削力把切屑移除。而球刀 A(鍍層為 AlTiN)、球刀 B(鍍層為 AlTiN +PLC)則較適用於鈦合金(Ti6A14V)之切削。

目錄

摘要

第一章:序論

1-1 研究動機

1-2 研究目的

第二章:銑削初步介紹

2-1 銑削原理

2-2 平面銑削法

第三章:銑刀的切削加工條件

3-1 軸向深度

3-2 切削速度

3-3 刀具壽命

第四章:刀具製作與發展

4-1 銑刀圖和銑刀規格

第五章:實驗機具介紹

5-1 CNC 銑床

5-2 高速主軸與轉速控制器

5-3 冷氣槍

5-4 電子式扭力板手

5-5 掃描式電顯微鏡(SEM)

第六章:實驗步驟與方法

6-1 實驗步驟

第七章:銑削切屑圖和刀痕圖

第八章:結論

參考文獻

圖表目錄

| | |
|-----------------------------|----|
| ● 表 2-1 下銑法與上銑法之比較表 | 6 |
| ● 圖 4-1 刀具製作圖 圖 4-2 銑刀端面模擬圖 | 9 |
| ● 表 4-3 銑刀圖和銑刀規格圖 | 11 |
| ● 圖 5-1 C N C 銑床照片 | 12 |
| ● 圖 5-2 高速主軸 | 13 |
| ● 表 5-3 DN 質與主軸內孔大小對主軸的關係 | 13 |
| ● 圖 5-4 冷空槍 | 14 |
| ● 圖 5-5 電子扭力扳手 | 16 |
| ● 圖 5-6 電子顯微鏡(SEM) | 17 |
| ● 表 5-7 兩者主要功能比較表 | 17 |
| ● 圖 5-8 電子顯微鏡原理 | 18 |
| ● 圖 6-1 工作圖(1)(2) | 20 |
| ● 圖 6-2 高速主軸安裝 CNC | 22 |
| ● 圖 6-3 此圖為氣壓不足 | 22 |
| ● 圖 6-4 歸零 | 23 |
| ● 圖 6-5 轉速 23000 RPM | 23 |
| ● 圖 6-6 對刀 | 24 |
| ● 圖 6-7 成本圖 | 24 |
| ● 表 6-8 材料的成分與規格 | 25 |
| ● 表 6-9 銑削參數表 | 26 |

第一章 序論

銑刀為一種多鋒之圓形刀具，通常在圓板或圓柱之周緣製程或裝置多數刀刃而成，以旋轉產生切削作用刀具，銑刀之用途廣泛，可在工作材料上銑削各種形狀，如平面、垂直面、角度、溝槽、齒輪、銑割....等。

銑刀在銑削過程中，銑削大量之金屬，雖然每一刀刃之銑削厚度不大，但必須具有相當的硬度極足夠的強度，以承受銑削中之壓力，尚須具有能抗熱及抗刀刃與工件接觸時之震動，同時為欲維持銳利的刀刃，亦必須具有能抗熱及抵抗銑削之摩擦才可，故選擇銑刀之材質，必須考慮銑削材，銑削材質，銑削速度及銑床性能等，以決定適當之材質，方能獲得最適用且最經濟之工作。

刀具在高科技產業已應用於光學、光電、醫療、航太、汽車、精密模具、PCB、LCD 導光板、液晶面板、手機面板、數位相機、液晶電視面板、精密檢治具、鑽石耐磨件與超精密加工上。而在今天也已經被廣泛地運用在於加工各種的曲面加工之上，尤其是在鑄造鍛造模具、航太結構元件、汽車零件等方面的應用，更使其成為切削精工中不可或缺的重要刀具。在金屬切削過程中的切削力測定，不僅在工具機及切削刀具的設計上扮演了相當重要的角色，而且對於不同加工作業下之切削條件選擇亦造成關鍵性的影響，尤其在 NC 加工的程式設計上更是如此。為了避免刀具的磨損、破壞及變形，以致於使工件精加工的品質受影響，適當切削條件的選擇便甚為重要。因此，在不同切削條件下的銑刀切削力學模式與分析，便成為增進其切削加工品質的重要參考指標。

而刀具管理在生產自動化作業中，不僅能減少浪費，降低成本，更能增加作業彈性，確保產品品質，更直接影響其使用效率及產業競爭力，故刀具於現今與未來的社會科技、機械工程等，都扮演著重要的角色。

1-1 研究動機

由於現在的加工技術逐漸趨向超高速、高精密加工，而要能使刀具夠運用在超高速加工上，在刀具必須有優良的切削狀況、良好的排屑狀況以及刀具的高耐磨度。而會影響這三個狀況的條件在於，刀具的各種角度上的設計、排屑槽的設計、鍍層的種類等等....，而本研究是將要了解何種的參數下，有利於超高速加工下的環境來使用，而鍍層材質的不同而有不同的耐磨程度，相對的也提高加工後的產品的精密度等等…。

而本實驗也利用高速主軸高速的切削速度來進行實驗，由許多不同的參數來去著手實驗。提高切削速度是金屬切削技術長期追求的目標，也是切削加工提高效率、降低成本的主要措施。機械加工的歷史證明，切削速度的提高為機械製造產業帶來巨大的技術經濟效益，切削速度的提高還反映著機械製造整體技術水平的進步。

從八十年代開始，製造技術進入了一個全面發展的新時期，其特點是以提高切削速度和進給速度為目標，主要內容包括高速主軸單元、快速進給和高加(減)速度的驅動系統、高性能的快速 CNC 控制系統、高剛性的機床結構、超硬刀具材料和塗層工藝技術等。製造技術的全面進展正在把切削技術推向高速切削(HSC)的新階段。在實驗過程中，就由觀看切屑噴出的方向、距離，切削時的切削變化、切削面的狀況等等…來片段刀具的狀況。

1-2 研究目的

本專題研究是延續學長在刀具上的研究，這次實驗為針對刀具的刀口幾何不同與材質性質不同，還有在超鏡面的有無，傳統冷卻潤滑的方式與冷卻槍使用上的差別，在銑削時對於工件的影響，如表面平滑度，切削成長與觀察切屑的知測試刀具優異性比較。

第二章 銑削初步介紹

銑床是一種非常多樣性的加工機械，由車床演化而來，車床是生產圓柱型或旋轉用途之零件常用的機器，而銑床常用在生產菱柱形或非旋轉旋轉用途之零件，能夠精確的將工作物銑平面、銑曲面、銑溝槽、銑齒輪、銑各種複雜工件的形狀。銑床的種類繁多，如依其刀具主軸的方向來分，則有立式銑床、臥式銑床、複合式銑床，立式銑床刀具主軸是垂直的，除垂直銑削加工外，亦可用於工作物的鑽孔、擴孔等，臥式銑床刀具主軸與地面平行，複合式銑床則兼具立式及臥室刀軸。

2-1 銑削原理：

切削的方式可分為兩種以銑刀的加工方法上根據銑刀的旋轉方向及工件的進給方向之組成方式而區分為上銑法跟下銑法，則統稱為周邊銑，詳見表 2-1。

| | 下銑法（順銑法） (Climb or down-milling) | 上銑法（逆銑法） (Conventional or up-milling) |
|----|---|--|
| 優點 | <ul style="list-style-type: none">1. 刀刃摩擦小，刀具壽命長。2. 容易挾持，適合長薄形工件加工表面光度佳。3. 削功率消耗較少。 | <ul style="list-style-type: none">1. 可用於舊式銑床，不產生螺桿無效間隙運動。2. 適合銑削有鱗皮或硬點之鑄件。3. 刀齒由少量而多的切入工件，故不易斷裂。 |
| 缺點 | <ul style="list-style-type: none">1. 容易產生床台之間隙移動，需有消除床台進給間隙之動作方能確保尺寸精確2. 切削時由厚而薄，刀具易斷。 | <ul style="list-style-type: none">1. 精度差。2. 容易產生震動。3. 功率消耗大 |

表 2-1 下銑法與上銑法之比較

2-2 平面銑削法(Face-milling):

銑削加工中,加工面與刀軸垂直,由銑刀端頭及外緣上之刀刃產生銑切作用,稱平面銑削。

在平面銑削中,除了有周邊銑削形式之順銑法與逆銑法之切削方式外,上具有順銑法與逆銑法之合成切削方式。若銑削時銑刀中心軸線在加工面之內時,則刀齒切削時剛切入之切削甚薄,當旋轉至中心軸線時切屑厚度達到最大,隨著旋轉刀逐漸離開工件,切屑漸減至最小,故可發現同時具有類似順銑或逆銑之作用。因此,只要銑刀中心軸線兩邊之金屬切削量相等,則進給螺桿產生齒跳動之順銑法切削力將合逆銑法之切削力相抵消。

第三章 銑刀的切削加工條件

3-1 軸向深度

就切削效率而言，我們都希望一次切削就能達到使用者所要的切削度，但往往切削深度比端銑刀直徑大很多時，刀具會發生嚴重磨耗，甚至折斷。因此，只有分次加工銑削來達到所預期的加工深度。根據切削理論及實驗顯示，切削時的軸向深度最大不要超過端銑刀直徑距離，因為，軸向深度過大，則加工面會歪曲；但是軸向深度太小時，刀具壽命也會降低。

3-2 切削速度

切削速度分為刀刃尖端之速度.切削速度.銑刀直徑.主軸轉速之間.有以下之關係存在:

$$V = \pi \times D \times N / 1000$$

V 為切削速度(m/min)

D 為銑刀直徑(mm)

N 為主軸轉速(rpm)

3-3 刀具壽命

由泰勒式刀具壽命公式得知:

$$VT = C$$

V 為切削速度

T 為實際切削時間

N 為指數

C 為常數

即當工件材質.刀具材質 刀具形狀 切削深度及進刀量均為一定 則影響刀具壽命最主要的因素乃為切削速度之大小 加工時間T隨著切削速度V的增加而減短 對高速鋼刀具而言 $n=0.12\sim0.15$ $c=200\sim300$;對碳化鎢刀具而言
 $n=0.25\sim0.30$ $c=600\sim1000$

第四章 刀具製作與發展

4-1 刀具的生產

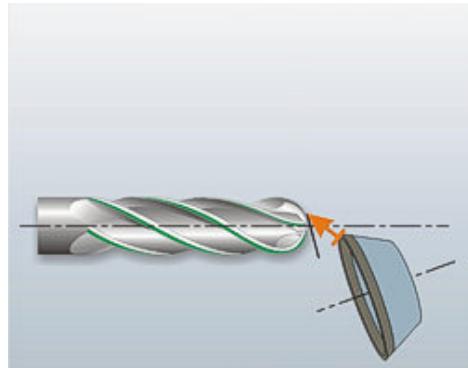


圖 4-1 刀具製作圖

VERICUT 5.4 BY CGTECH:

VERICUT 是全世界 NC 驗證軟體的領導者，使用 VERICUT 可在產品實際加工之前，模擬 N C 加工過程。以檢測刀具路徑中可能存在的錯誤，並可用於驗證 G 代碼和 C A M 軟體輸出結果。VERICUT 可在 U N I X 、 W I N D O W S N T / 9 5 / 9 8 / 2 0 0 0 系統下進行。本系統有三大主要功能：常規工作模擬／驗證／分析、刀具路徑最佳化／工具機與控制器系統模擬。

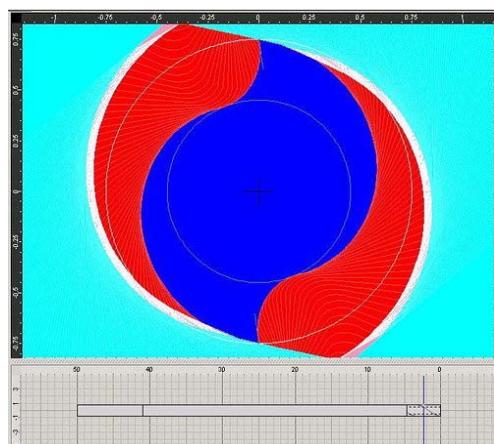


圖 4-2 銑刀端面模擬圖

NUMROTO plus :

- 無論是簡單的普通刀具或複雜的成形刀。不規則刀具，皆可迎刃而解，把競爭者拋之於後。
- 利用 2D 軟體 (3D 是選件)，模擬刀具磨削。
- 使操作人員可以在最短時間內製造出最完美的刀具。
- 可以存儲數萬種刀具的記憶儲存功能。可以在數秒內將過去所磨削的刀具資料呈現在屏幕上。重新使用，節省許多刀具的重新設定 時間。
- 除了標準配備的刀具軟體，還有幾百種特殊刀具軟體可供選用。即使 5 年~10 年後，我們都還可隨時提供用戶的選用。

銑刀的製作：

銑刀大多採用粉末冶金製法，是把金屬由顆粒或固體狀變粉末狀，再將粉末狀之金屬加熱至高溫，再加以極大的壓力，再加上其他結合液一方面讓它結合在一起，另一方面增強它的強度和硬度，則稱粉末冶金。

切削刀具特性：

切削刀具必須有抗熱、抗壓、及耐衝擊基本特性，亦具有紅熱硬度、冷硬性、韌性才足以適應高速生產時金屬切削加工。

切削刀具的改良：

1. 在切削加工時，為了減少工時及增加產量，則需增加切削速度，但此將會增大刀具與材料之間的摩擦力及衝擊力，如果摩擦力及衝擊力超過刀具的限度時，則會產生燒毀、斷裂等現象。
2. 切削刀具的材料需具有耐高溫、耐衝擊、耐震動、太磨耗等特性。

切削刀具的發展：

目前已發展出來之刀具很多，常用的有高碳鋼、高速鋼、非鐵鑄合金、燒結炭化鈦、陶瓷、鑽石、鍍層碳化鈦、陶瓷金屬等，因每一種刀具材料均有不同的特性，應視不同的加工選擇適宜的刀具，才能發揮刀具特性，降低製造成本。

4-2 銑刀圖和銑刀規格

| | 銑刀圖片 | 全長 | 直徑 | 刀具電鍍材質 |
|-------------|---|------|----------|-----------|
| 球 刀 A |  | 38.0 | ϕ 2 | AlTiN |
| 球 刀 B |  | 38.0 | ϕ 2 | AlTiN+PLC |
| 球 刀 C |  | 38.0 | ϕ 2 | 裸刀 |

表 4-3 銑刀圖和銑刀規格

第五章實驗機具介紹

5-1 CNC 銑床



圖 5-1 CNC 銑床照片

CNC 銑床之種類與大小不同 但一完整 CNC 銑床規格 均應包含下列項目：

1. 工作台尺寸
2. X.Y.Z 三軸間最大行程
3. 主軸轉速。
4. 主軸端孔斜度。
5. 五軸馬達之輸出功率。
6. 自動換刀裝置隻刀具數量(綜合切削中心機)。
7. 刀具自動交換方式(綜合切削中心機)。
8. 數值控制系統。

CNC 指令機能的認識：

G 機能又稱準備機能，是控制器已經設定好的機能。由 G00~G99 不同的 G CODE2 代表不同的意義和動作方式。

M 機能又稱輔助機能，在像是一些單純的開/關(ON/OFF)動作，這些皆歸屬於輔助機能。通常 M 機能除某些有通用性的標準碼外，亦可由製造廠商依其機械之動作要求，設計出不同之 M 指令，以為控制不同之開/關動作 或預留 I/O(輸入/輸出)接點，作為操作者自行聯結其它附件使用。

5-2 高速主軸與轉速控制器

高速主軸以轉速來分別的話，超過 8000RPM 以上即可稱之為高速主軸。

若進一步來區分可以以 DN 值、切削、動平衡來說明。

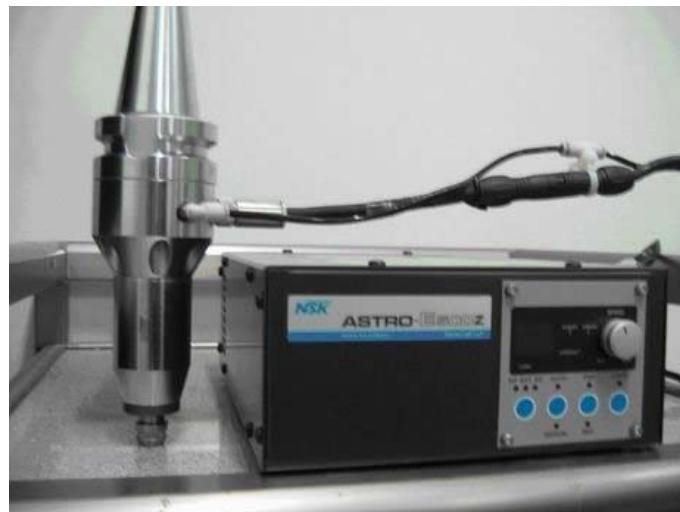


圖 5-2 高速主軸

1. DN 值 : 軸承直徑(mm)*最高轉速(rpm) 目前 DN 值在 500,000~1,500,000,者及可稱為高速主軸，詳細情形如下：

| DN 值 | 軸徑 JOUEMAL DLA(mm) | 主軸內孔 SPINDLE TAPER | 最高轉速 MAX RPM |
|---------|-----------------------|-----------------------|--------------------|
| 500000 | 45 | 30 | 11111 |
| 1000000 | | | 22222 |
| 1500000 | | | 33333 |
| 1750000 | | | 28889Note.1 |
| 2000000 | | | 44444Note.1 |
| 500000 | 60 | 40 | 8333 |
| 1000000 | | | 16667 |
| 1500000 | | | 25000 |
| 1750000 | | | 29167Note.1 |
| 2000000 | | | 33333Note.1 |
| 500000 | 80 | 50 | 6250 |
| 1000000 | | | 12500 |
| 1500000 | | | 18750Note.2 |
| 1750000 | | | 21875Note.1&2 |
| 2000000 | | | 38889Note.1&2 |

表 5-3 DN 質與主軸內孔大小對主軸的關係

2. 切削：刀刃切削頻率在高轉速時達到或接近機台的自然頻率。能達到發生此狀況轉速之主軸亦為高速主軸。

3. 動平衡：超過 8000RPM 以上，動平衡合乎 ISO1940 的規範。

5-3 冷氣槍



圖 5-4 冷空槍

冷氣槍，vortex turbine Flow 涡流管制冷器，刀具冷卻、零部件冷卻、機床冷卻等局部風冷式渦旋管冷卻器設備。

對於許多需要小面積局部快速冷卻降溫的幹式風冷類應用，如機床刀頭冷卻，各種刀具冷卻降溫，以及電具 零部件冷卻降溫、焊接件冷卻降溫、熱封件冷卻降溫等，Nex Flow 涡流管局部冷卻槍可充分滿足需求。

Nex Flow 局部冷卻槍的核心部件是渦流管（vortex tube），壓縮空氣經渦旋管後，30%的氣流升溫 70 度左右後直接排放在空氣中，70%的氣流降溫 30 度後通過萬向軟管吹向需要冷卻的部位，同時標配有消聲器，磁性基座等裝置，直接吸附在機床或金屬工作臺上即可使用。

優點：

- 1、用壓縮空氣驅動，非電氣設備，純機械結構，內部無化學物、無污染可能。
- 2、運行可靠，免維護，使用成本很低，無活動件、無磨損可能，壽命長達 10 年以上。
- 3、不銹鋼材質，耐腐蝕、體積小，重量不超過 1 公斤。

刀具在切削時，在刀刃口會產生高溫，高溫會縮短刀具壽命、加速刀具的磨耗、降低切削速率，所以刀具在切削時冷卻刀具溫度是非常重要的。

常見的冷卻方法為加切削液，切削液可在切削過程中移除切削的熱量，減少

刀具磨損，避免切削熔焊在刀具上，控制積屑刃口，防止產生 BUM，減少切削阻力，改善切削表面粗糙度，保護加工面具有防鏽效果，沖除切屑，增加切削率。

但是切削液在使用過後，所些切削下來的切屑會流回油箱，再次循環到加工處，造成工件表面的刮傷。切削液在重覆使用後，期性狀慢慢變化而降低效能，如果使用方法不當將引起急烈變化。

本實驗不使用切削液，改採用冷凍動槍裝置，冷凍槍可將壓縮空氣轉換成低溫的空氣，將溫度降低與切削液降低溫的功效是相同的。並且使用切削液會將實驗所需的切屑沖刷走，造成實驗用的切削蒐集時的困難，而切削會隨著循環切削液的作用下，刮傷表面，造成實驗所需的工作表面造成判斷上的誤差，並可隨著其他實驗所產生的切削混合在一起，導致切屑採集的錯誤性。

冷凍槍可保持切屑不與其他切屑混合，也不會造成切屑刮傷表面的情形。故本實驗採用冷凍槍裝置的原因。

5-4 電子式扭力扳手

內裝有精密的測量儀器，通常用於某些螺絲需要有特定的扭力~而且有一定的精準度，此扭力扳手單位是 Kgf.cm。扭力的設定值範圍為 100~1000Kgf.cm，鎖固值與檢測值都要落在此範圍值內。電子扭力扳手以鎖緊螺絲的方向直到螺絲進一步移動。操作會因人而異。要建立作業標準書規範人員操作的方式，且現場作業用的是設定好扭力後，依扳手操作標準去操作。品檢原則是較好的扭力扳手，附表可看數值的來檢測，詳見圖 5-5。



| | |
|---------|---------------------------|
| 產品名稱： | 電子式扭力扳手 |
| 產品型號： | DTC-1000EX |
| 產 地： | 日本 |
| 品 牌： | KANON |
| 測定範圍： | 100~1000 Kgf.cm |
| 最小讀值： | 1 Kgf.cm |
| 精 度： | ± 1% + 1 位數字 |
| 詳細規格說明： | 可替換頭 900(QCK、SCK、RCK、HCK) |

圖 5-5 電子扭力扳手

5-5 掃描式電具 顯微鏡(SEM)

電子顯微鏡主要是利用高加速電壓之入射電子束打擊在試片後，產生相關二次訊號來分析各種特性，可參閱圖 3-3，一般的二次訊號包括直射電子、散射電子、二次電子、背向散射電子、Auger 電具 及 X 射線等。電子顯微鏡的發展以穿透式電子顯微鏡（TEM：Transmission Electron Microscope）為最早，在 1931 年即已提出；掃描式電子顯微鏡（SEM：Scanning Electron Microscope）則在 1935 年提出。由於早期發展的 SEM 解析度未臻理想，影像處理及訊號處理技術無法突破，一直到 1965 年以後，SEM 才正式普獲研究學者的青睞。此後 SEM 的發展相當快速，不但機台性能的大幅提高，且各項材料分析附件日益增多，應用的範圍也不斷地擴大，幾乎包含各個研究領域，目前應用在材料、機械、電機、電子材料、冶金、地質、礦物、生物醫學、化學、物理等方面最多。

電子槍為掃描式電子顯微鏡之電子光源，主要考慮因素在於高亮度、光源區愈小愈好，以及高穩定度。目前電子的產生方式多為利用加熱燈絲（陰極）放出電子，主要的電子槍材料包括（1）鎢燈絲；（2）LaB₆硼化鑭；及（3）場發射電子槍三種。考慮燈絲材料的熔點、氣化壓力、機械強度及其他因素後，目前最便宜的材料為鎢絲。在特殊狀況下如要求更高亮度及應定性時，則使用場發射電子槍可獲得更佳之解析度，但真空度的要求也相對提高。



圖 5-6 電子顯微鏡(SEM)

| | | SEM | EPMA |
|-------|----|-------------|-----------|
| 信號之激發 | | 電子 | 電子 |
| 信號之偵測 | | 二次電子、背向電子 | 特性 X-ray |
| 主要用途 | | 微細結構顯影像結晶研究 | 成份分析、定量分析 |
| 空間解析力 | 橫向 | 約為 50 度 A | 約為 1um |
| | 縱向 | 50~500 度 A | 幾個 um 左右 |

表 5-7 兩者主要功能比較表

掃描式電子顯微鏡由於景深 (Depth of Focus) 大，對於研究物體之表面結構功效特別顯著，例如材料之斷口、磨損面、塗層結構、夾雜物等之觀察研究。近年來由於技術的進步，SEM 已將電具 微探儀 (Electron Probe Micro-analyser；EPMA) 結合在一起 (兩者主要功能之比較表請見表 3-4)，在觀測表面結構時，

能夠同時分析顯微區域之定性及定量成份分析，使得掃描式電子顯微鏡成為用途最廣的科學儀器之一，原理詳見圖 5-8。

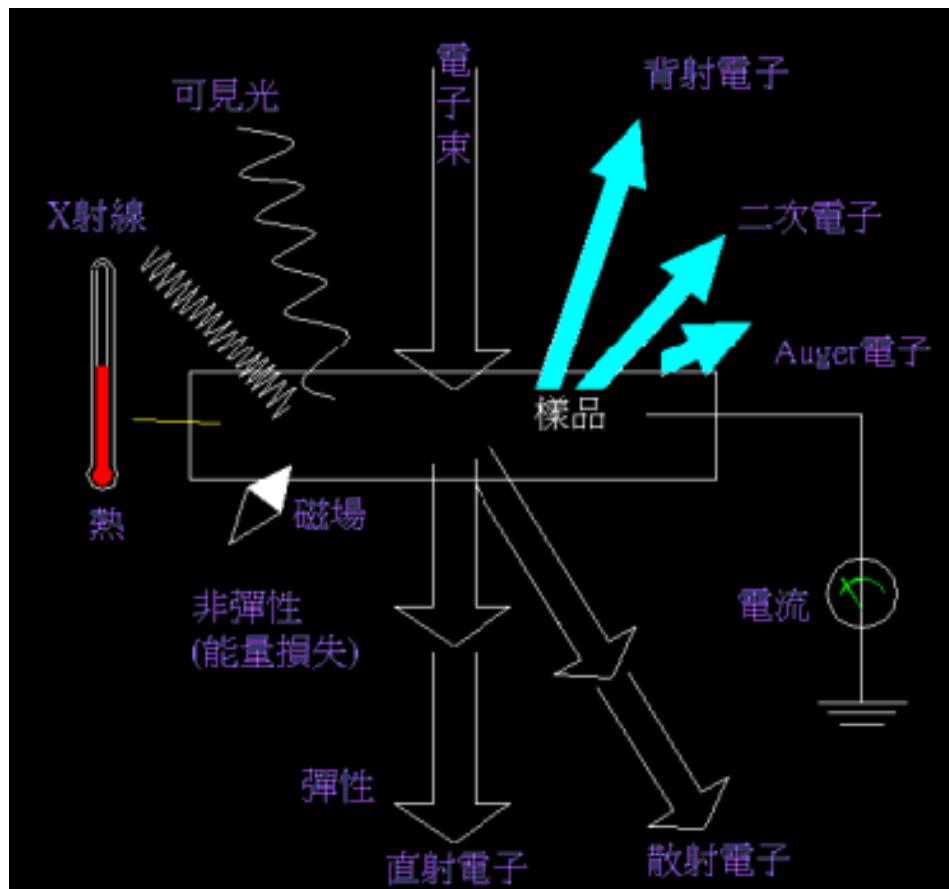


圖 5-8 電子顯微鏡原理

第六章 實驗步驟與方法

本實驗主要為探討各種不同刀具在不同參數所切削出來的切屑表面是否良好及是否有好的切削性，再研究刀具在切削時所承受的力量大小與工件表面的優異性。

實驗流程

選用刀具



繪製銑削路徑 \rightarrow 轉成 NC 檔



裝設刀具 \leftarrow 上傳到 CNC



架設高速主軸



CNC 銑削實驗



蒐集銑削切屑



拍攝切屑表面並做記錄與整理

6-1 實驗步驟

1. 用 Mastercam9.0 繪出工作圖，如下圖所示

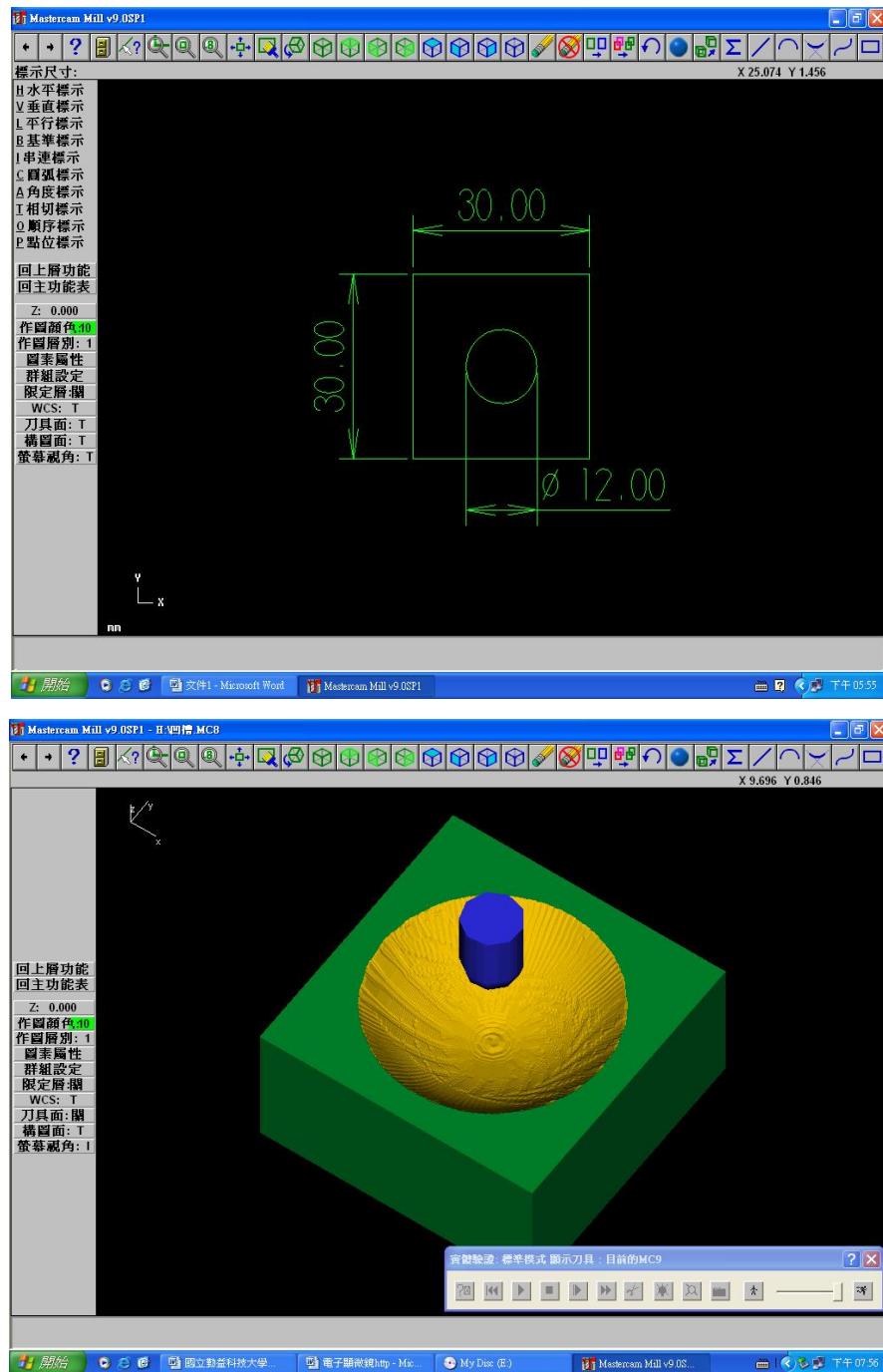


圖 6-1 工作圖(1)(2)

2. 把 Mastercam9.0 繪出的圖轉 NC 程式檔傳到 CNC 銑床，並開始銑削執行。

```
%  
00001  
N100G20  
N102G0G17G40G49G80G90  
N106G0G90G54X.0502Y0.M5  
N107M19  
N108G43H1Z2.  
N110Z.22  
N112G1Z-.01F6.42  
N114G3X-.2498R.15 F500.  
N116X.4502R.35  
N118X-.6498R.55  
N120X.8502R.75  
N122X-1.0498R.95  
N124X1.2502R1.15  
N126X-1.4498R1.35  
N128X1.6502R1.55  
N130X-1.8498R1.75  
N132X2.0502R1.95  
N134X-2.2498R2.15  
. . . .  
N6960X.05Y0.  
N6962Z-1.7304  
N6964G1Z-1.9604F6.42  
N6966G3X-.25R.15F500.  
N6968X.45R.35  
N6970X-.1961Y.5415R.55  
N6972X-.576Y0.R.576  
N6974G1X-.5757Y-.0186  
N6976G3X.0183Y-.5757R.576  
N6978X-.0183Y.5757R.576  
N6980X-.1961Y.5415R.576  
N6982G0Z-1.7304  
N6984Z2.  
N6986X.0501Y-.0003  
N6988Z-1.76  
N6990G1Z-1.99F6.42  
N6992G3X-.2499R.15F500.  
N6994X.2098Y-.3326R.35  
N6996X.3928Y-.0034R.3928  
N6998G2Y.0034R.0059  
N7000G3X-.3928Y-.0034R.3928  
N7002X-.3927Y-.011R.3928  
N7004X.2098Y-.3326R.3928  
N7006G0Z-1.79  
N7008Z2.  
N7010M5  
N7012G91G28Z0.  
N7014G28X0.Y0.A0.  
N7016M30  
%
```

3. 將試片固定於虎前上，本實驗使用 CNC 銑床結合高速主軸與冷凍槍，實驗項目為將刀具再實驗材料上切削一次行程。

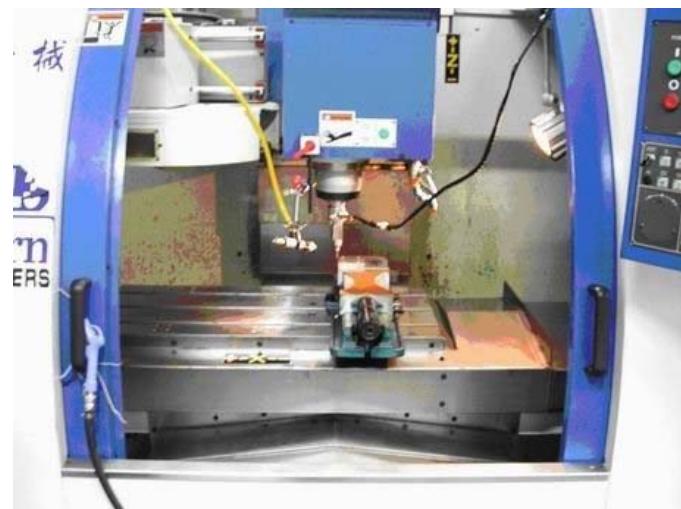


圖 6-2 高速主軸安裝於 CNC

4. 裝設高速主軸，高速主軸為將高速馬達結合在刀軸上面，在使用的時候要先將 CNC 的主軸鎖定，防止在實驗的時候主軸轉動，此會將高速主軸的連結線扯斷。高速主軸須加裝氣壓才能使用，未加裝氣壓下會出現下圖。



圖 6-3 此圖為氣壓不足

將氣壓裝設好，設定器歸零



圖 6-4 歸零

等待使用如圖，將右方的旋轉鈕旋轉，可調轉速。設定器的最小單位為 1000 rpm ，最高單位為 50000 rpm 。



圖 6-5 轉速 23000 RPM

5. 將刀具較正跟設定好刀具原點與工件原點後，將刀具先切削一次行程，此次目的為工件表面基準的平面不平，先進行一次銑削，可得水平的工作面，第二次行程才是實驗所需的面。



圖 6-6 對刀

6. 將每一球刀所切削完畢的切屑蒐集起來，放入電子顯微鏡(SEM)中觀察切屑的
縐褶，用來分析刀具對材料的切削狀況。
7. 將把銑削好的材料拿到光學顯微鏡(OM)觀看刀痕表面，並分析刀具對材料表面
的粗糙度與磨耗情形。



圖 6-7 成本圖

選用的材料

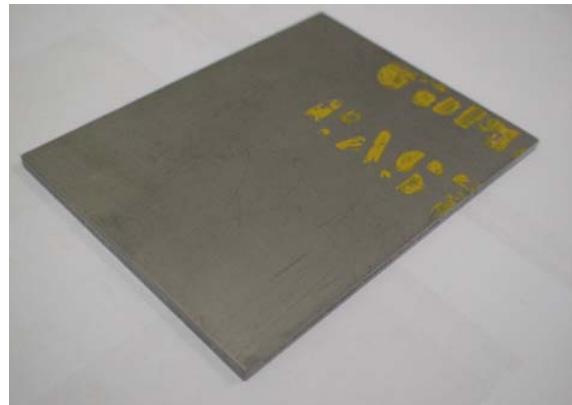
| 材 料 | | | |
|--------------------|--|-----------|-----|
| 低 碳 鋼 |  | | |
| 化 學 成 分 | 2%~4%C | 0.5%~3%Si | |
| 規 格 | 150mm×60mm×6mm | | |
| 不 舊 鋼 |  | | |
| 化 學 成 分 | 0.12%C | 17%Cr | |
| 規 格 | 100mm×80mm×50mm | | |
| 鈦 合 金 (Ti6Al4V) |  | | |
| 化 學 成 分 | 90%Ti | 6%Al | 4%V |
| 規 格 | 95mm×73mm×4mm | | |

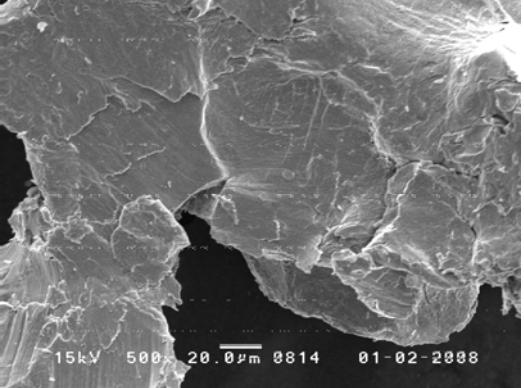
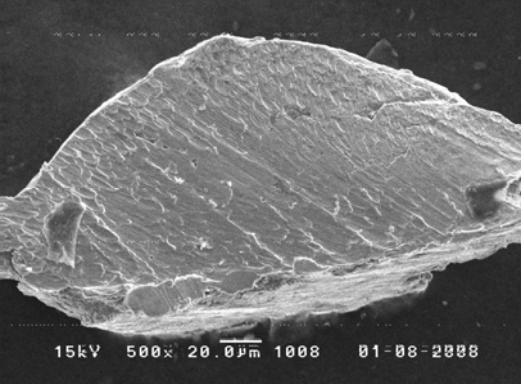
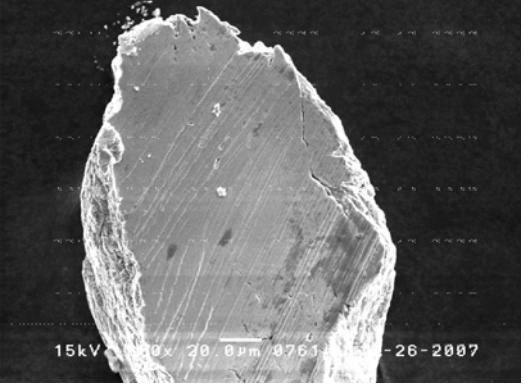
表 6-8 材料的成分與規格

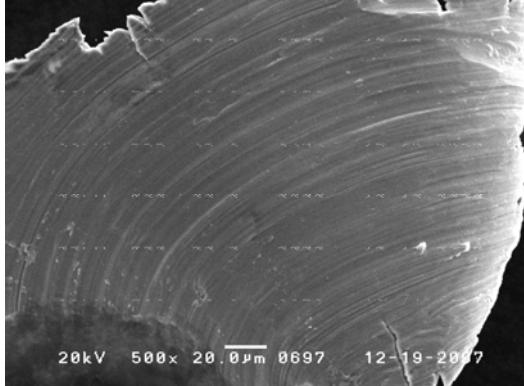
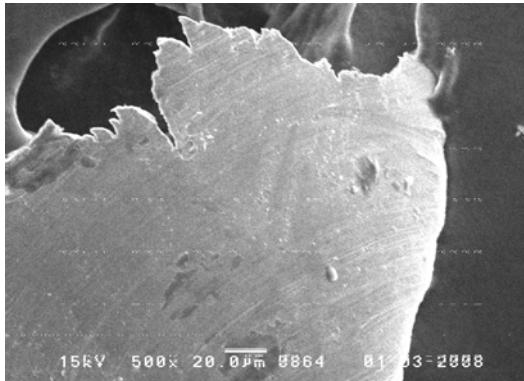
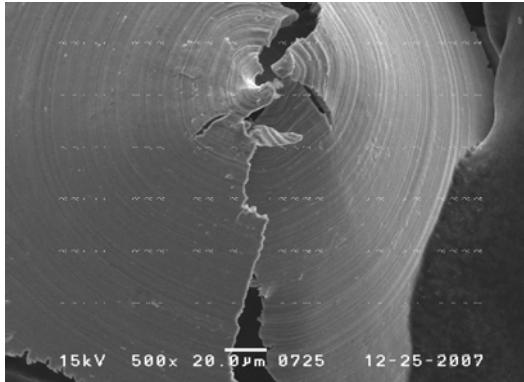
選用的參數

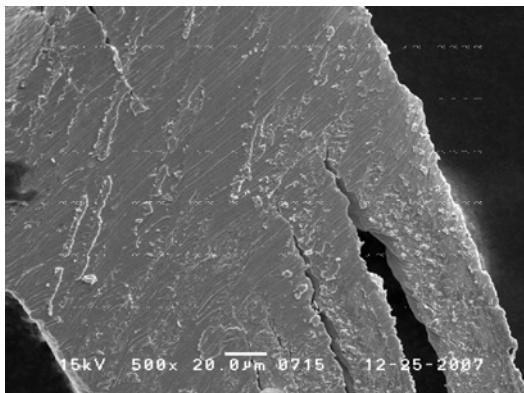
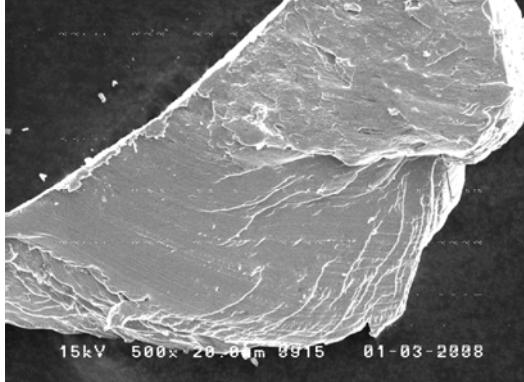
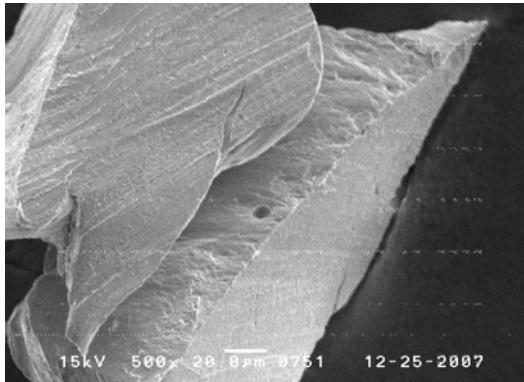
| | 轉速 | 進給 | 銑削深度 |
|--------------------------|-----------|-------------|---------|
| 球刀 A (鍍層 : ALTIN) | 1000 rpm | 500 mm/min | 0.03 mm |
| | 10000 rpm | 1000 mm/min | |
| | 50000 rpm | 2000 mm/min | |
| 球刀 B (鍍層 : ALTIN+PLC) | 1000 rpm | 500 mm/min | 0.03 mm |
| | 10000 rpm | 1000 mm/min | |
| | 50000 rpm | 2000 mm/min | |
| 球刀 C (鍍層 : 裸刀) | 1000 rpm | 500 mm/min | 0.03 mm |
| | 10000 rpm | 1000 mm/min | |
| | 50000 rpm | 2000 mm/min | |

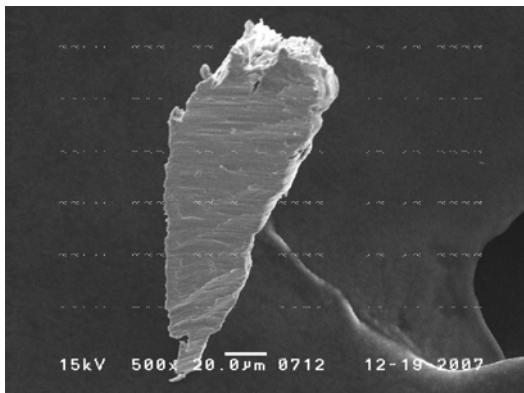
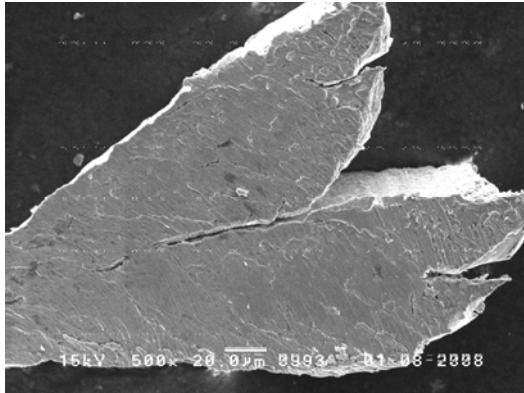
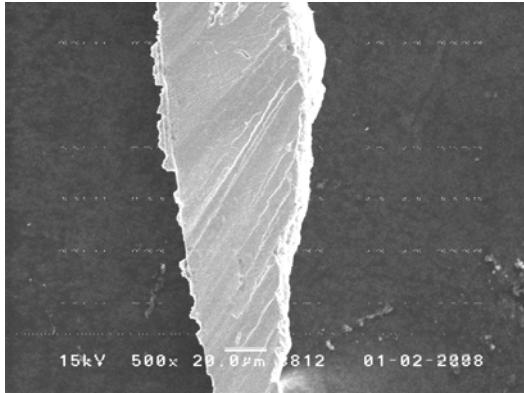
表 6-9 銑削參數表

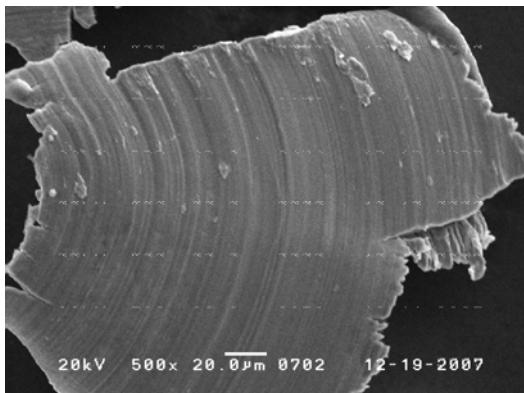
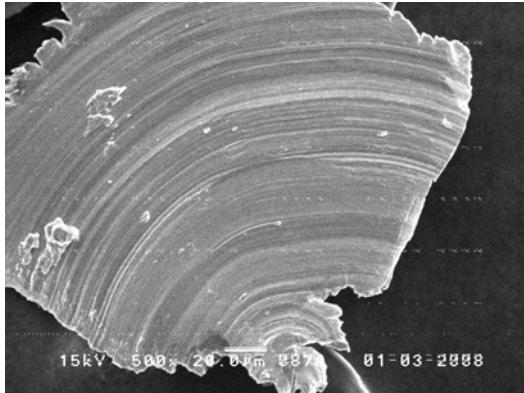
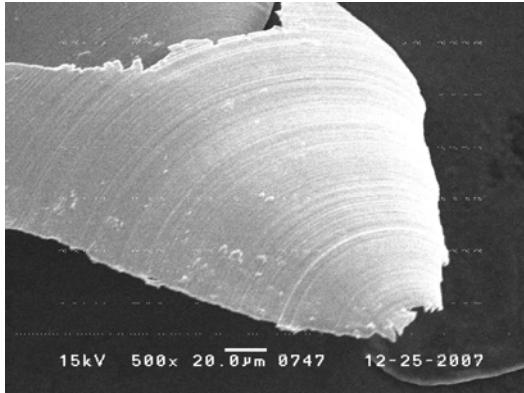
第七章 結果與討論

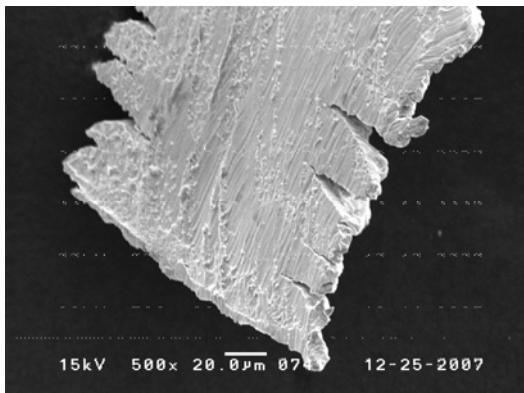
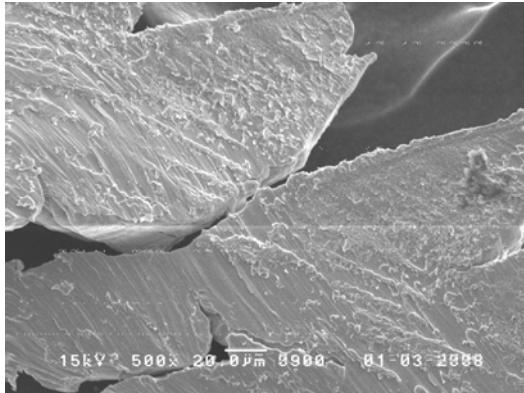
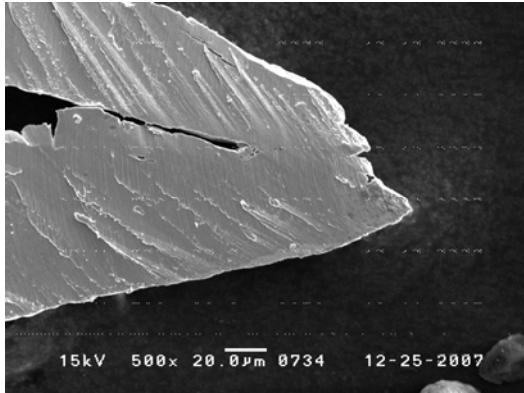
| | 球刀種類 | 材料：低碳鋼(倍率 500) |
|------|--|---|
| 球刀 A |  (鍍層：AlTiN) |  轉速：1000 進給率：500 |
| 球刀 B |  (鍍層：AlTiN + PLC) |  轉速：1000 進給率：500 |
| 球刀 C |  (鍍層：裸刀) |  轉速：1000 進給率：500 |
| 分析 | 在同轉速、同深度、同材料，可明顯的看出球刀 C(鍍層：裸刀)所切削出來的切屑表面粗操度較佳，也較球刀 A(鍍層：AlTiN)、B(材質：AlTiN +PLC)的切屑完整度佳，A(鍍層：AlTiN)、B(鍍層：AlTiN +PLC)兩張圖是刀具太硬而切削過軟材，所以刀刃不是切削力把切屑切開，而是擠壓力把切屑分開。 | |

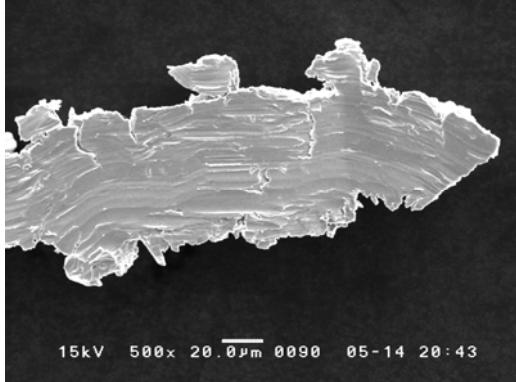
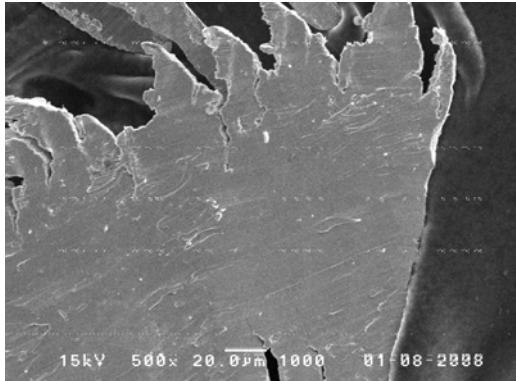
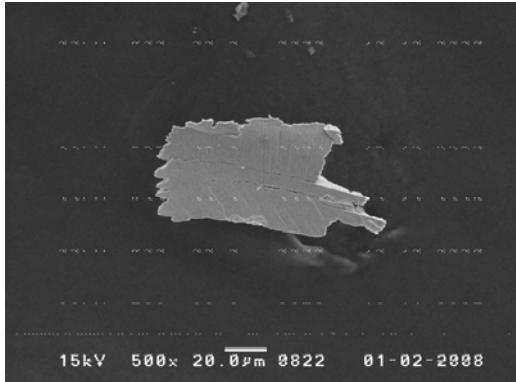
| | 球刀種類 | 材料：鈦合金(倍率 500) |
|------|---|---|
| 球刀 A |  (鍍層：AlTiN) |  20kV 500x 20.0µm 0697 12-19-2007 <p>轉速：1000 進給率：500</p> |
| 球刀 B |  (鍍層：AlTiN +PLC) |  15kV 500x 20.0µm 0864 01-03-2008 <p>轉速：1000 進給率：500</p> |
| 球刀 C | (鍍層：裸刀) |  15kV 500x 20.0µm 0725 12-25-2007 <p>轉速：1000 進給率：500</p> |
| 分析 | 在同轉速、同深度、同材料，切鈦的切屑斷面較其他金屬材料佳。鈦較其他金屬硬，所以切削時不太會刀刃積屑，切削性較好，故然切削表面較佳。而球刀 B 所切削的切屑因為材料有硬點或材質不均，所產生出來的不均勻面。 | |

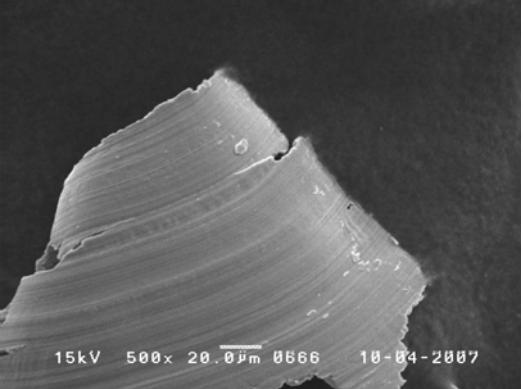
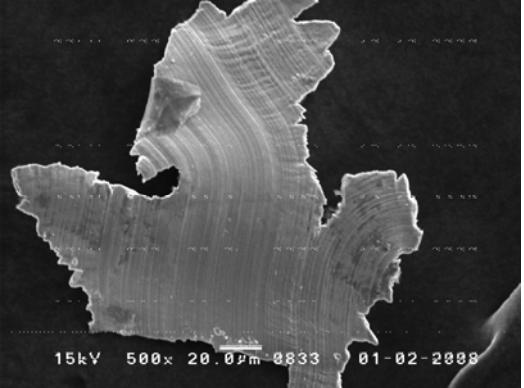
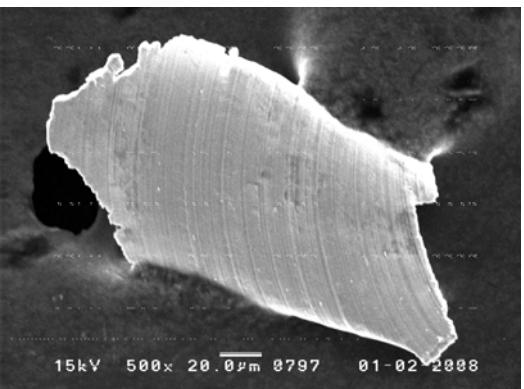
| | 球刀種類 | 材料：不鏽鋼(倍率 500) |
|------|---|---|
| 球刀 A |  (鍍層：AlTiN) |  轉速：1000 進給率：500 |
| 球刀 B |  (鍍層：AlTiN + PLC) |  轉速：1000 進給率：500 |
| 球刀 C |  (鍍層：裸刀) |  轉速：1000 進給率：500 |
| 分析 | 在同轉速、同深度、同材料，根據刀具的不同，球刀 B(鍍層：AlTiN + PLC)所切削的切屑有較緊密的刀痕，而另外球刀 C(鍍層：裸刀)的刀痕較粗糙，球刀 A 的切屑比球刀 C(鍔層：裸刀)更為粗糙，因為球刀 A(鍔層：AlTiN)、B(鍔層：AlTiN + PLC)會刀口積屑，而 A(鍔層：AlTiN)比 B(鍔層：AlTiN + PLC)軟，所以切削時 B(鍔層：AlTiN + PLC)會獲得較佳的切削性質，故選擇球刀 B(鍔層：AlTiN + PLC)較佳。 | |

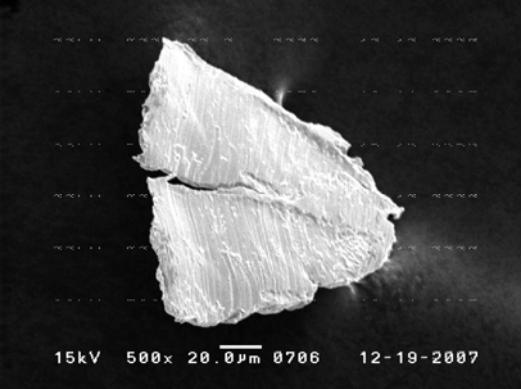
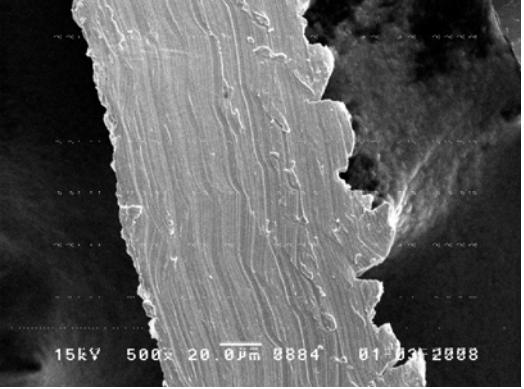
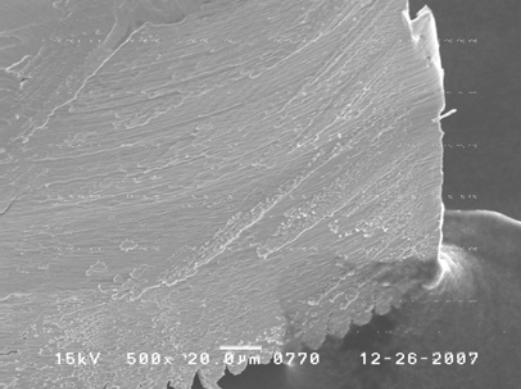
| | 球刀種類 | 材料：低碳鋼(倍率 500) |
|------|---|---|
| 球刀 A |  (鍍層：AlTiN) |  轉速：10000 進給率：1000 |
| 球刀 B |  (鍍層：AlTiN +PLC) |  轉速：10000 進給率：1000 |
| 球刀 C |  (鍍層：裸刀) |  轉速：10000 進給率：1000 |
| 分析 | 在同轉速、同深度、同材料，由上面可看出球刀 C(鍍層：裸刀)較其他刀具之切屑佳，故在此參數下，球刀 C(鍍層：裸刀)較適合此參數。 | |

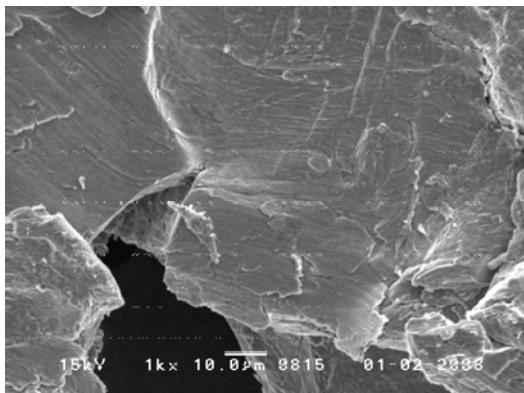
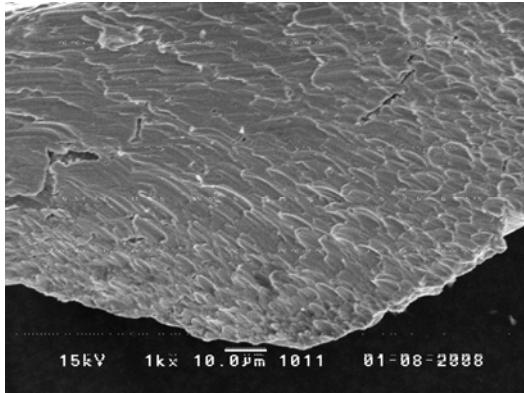
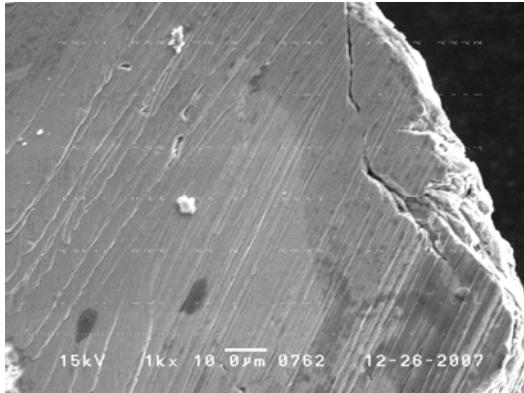
| | 球刀種類 | 材料：鈦合金(倍率 500) |
|------|---|---|
| 球刀 A |  (鍍層：AlTiN) |  20kV 500x 20.0µm 0702 12-19-2007 <p>轉速：10000 進給率：1000</p> |
| 球刀 B |  (鍍層：AlTiN + PLC) |  15kV 500x 20.0µm 0707 01-03-2008 <p>轉速：10000 進給率：1000</p> |
| 球刀 C |  (鍍層：裸刀) |  15kV 500x 20.0µm 0747 12-25-2007 <p>轉速：10000 進給率：1000</p> |
| 分析 | 在同轉速、同深度、同材料，球刀在切削鈦時切削面的光滑度皆佳。而缺點是球刀 A(鍍層：AlTiN)、B(鍍層：AlTiN + PLC)切削時皆有不均勻物產生，球刀 C(鍍層：裸刀)較少發生，球刀 C(鍍層：裸刀)所切削的切屑較光滑，而球刀 B(鍍層：AlTiN + PLC)的刀痕有較明顯的刀痕，故不適於切削此參數。 | |

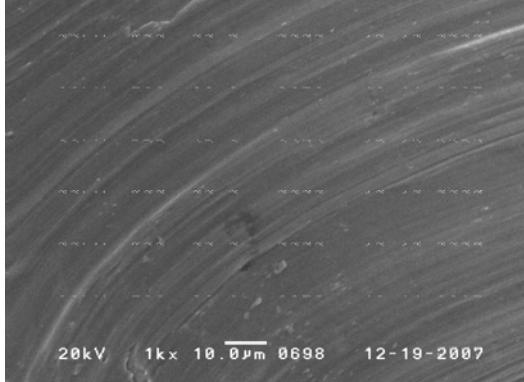
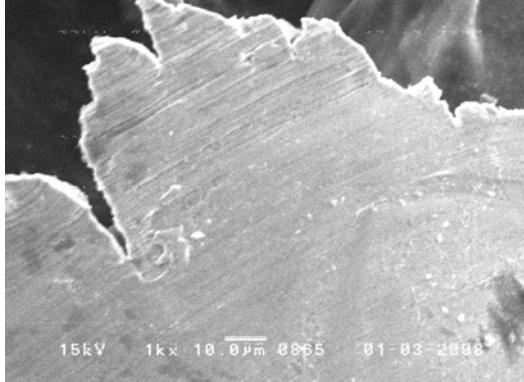
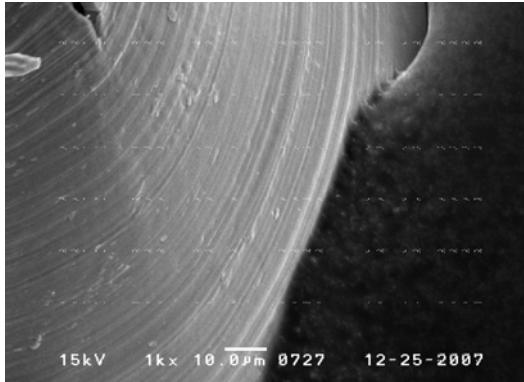
| | 球刀種類 | 材料：不鏽鋼(倍率 500) |
|------|--|---|
| 球刀 A |  (鍍層：AlTiN) |  轉速：10000 進給率：1000 |
| 球刀 B |  (鍍層：AlTiN + PLC) |  轉速：10000 進給率：1000 |
| 球刀 C | (鍍層：裸刀) |  轉速：10000 進給率：1000 |
| 分析 | 在同轉速、同深度、同材料，由球刀 B(鍍層：AlTiN + PLC)的圖可看出它的繩褶較其他的兩種密而且厚，而球刀 A(鍍層：AlTiN)、C(鍍層：裸刀)的表面較良好，顯示轉速在 10000 進給率 1000 時，可看出球刀 B(鍍層：AlTiN + PLC)在切削時阻力過大。 | |

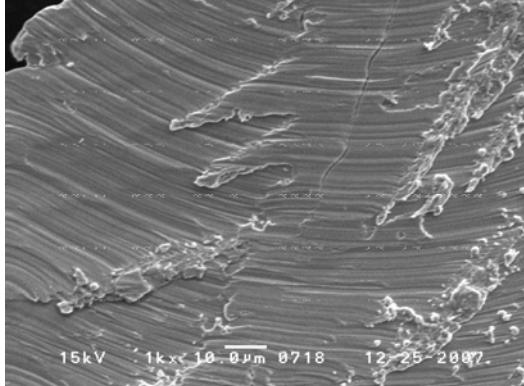
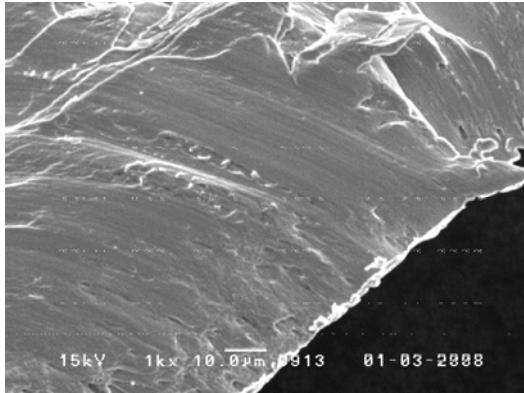
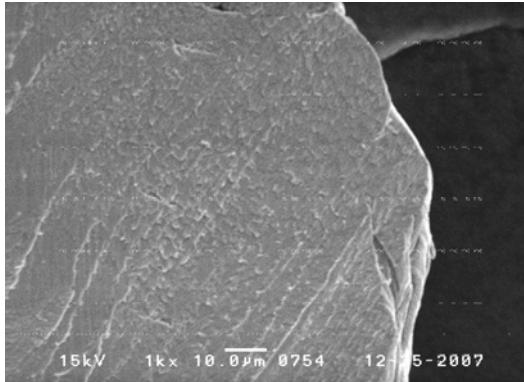
| | 球刀種類 | 材料：低碳鋼(倍率 500) |
|------|---|---|
| 球刀 A |  (鍍層：AlTiN) |  15kV 500x 20.0µm 0090 05-14 20:43 <p>轉速：50000 進給率：2000</p> |
| 球刀 B |  (鍍層：AlTiN +PLC) |  15kV 500x 20.0µm 1000 01-08-2888 <p>轉速：50000 進給率：2000</p> |
| 球刀 C |  (鍍層：裸刀) |  15kV 500x 20.0µm 0822 01-02-2888 <p>轉速：50000 進給率：2000</p> |
| 分析 | 在同轉速、同深度、同材料，球刀 B(鍍層：AlTiN +PLC)切削黑鐵時，切削面很顯然的不均勻，此材料切削時較為其他兩個材料吃力，而表面光滑度也較差，而相較之下，其它兩把較佳。 | |

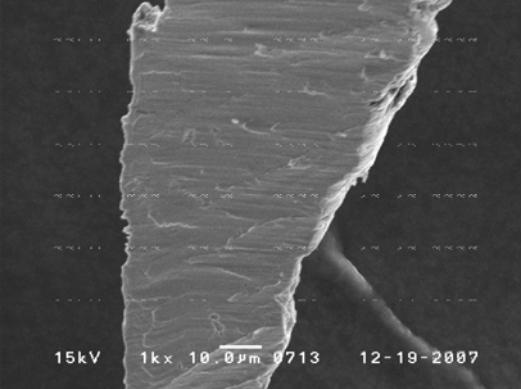
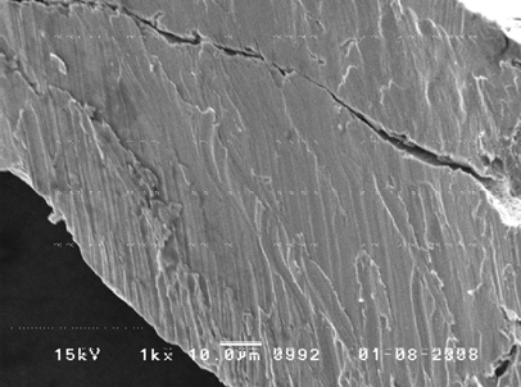
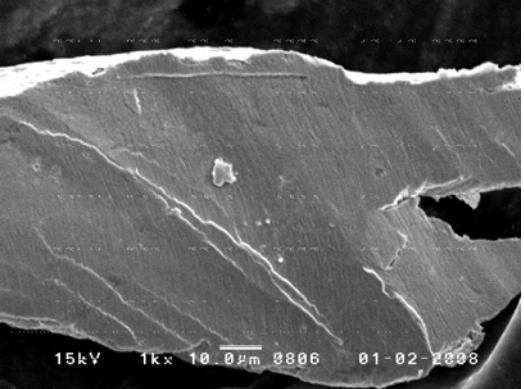
| | 球刀種類 | 材料：鈦合金(倍率 500) |
|------|--|---|
| 球刀 A |  (鍍層：AlTiN) |  轉速：50000 進給率：2000 |
| 球刀 B |  (鍍層：AlTiN + PLC) |  轉速：50000 進給率：2000 |
| 球刀 C |  (鍍層：裸刀) |  轉速：50000 進給率：2000 |
| 分析 | 在同轉速、同深度、同材料，切削鈦材料時，由此看出球刀 B(鍍層：AlTiN + PLC)切屑的切削面較其他球刀 A(鍍層：AlTiN)、C(鍍層：裸刀)不均勻，有較明顯的撕裂痕跡，而球刀 A(鍍層：AlTiN)的切削表面光滑，所以球刀 A(鍍層：AlTiN)再轉速 50000 進給率 2000 時，有最佳的切削性。 | |

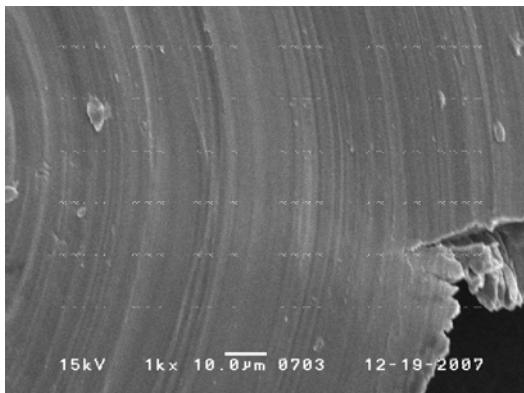
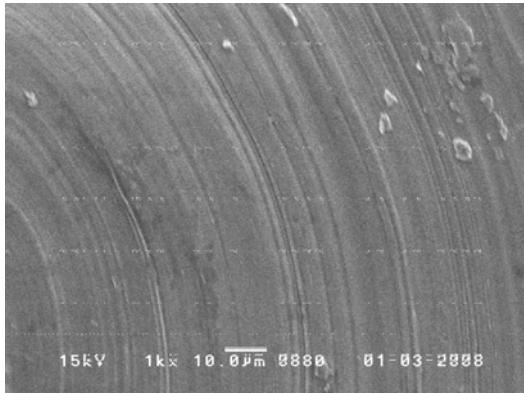
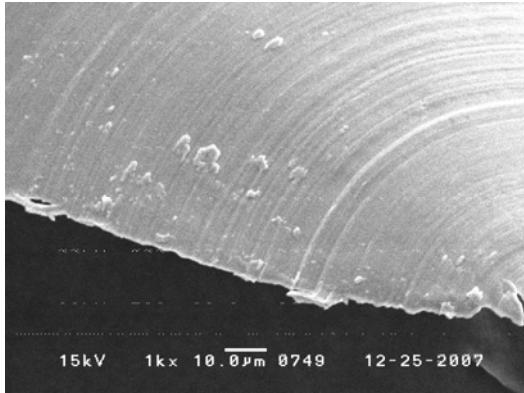
| | 球刀種類 | 材料：不鏽鋼(倍率 500) |
|------|---|---|
| 球刀 A |  (鍍層：AlTiN) |  轉速：50000 進給率：2000 |
| 球刀 B |  (鍍層：AlTiN +PLC) |  轉速：50000 進給率：2000 |
| 球刀 C |  (鍍層：裸刀) |  轉速：50000 進給率：2000 |
| 分析 | 在同轉速、同深度、同材料，球刀 A(鍍層：ALTIN)較其他刀具繩褶多，而球刀 B(鍍層：AlTiN +PLC)有明顯的擠壓力，故球刀 C(鍍層：裸刀)配合此參數最佳。 | |

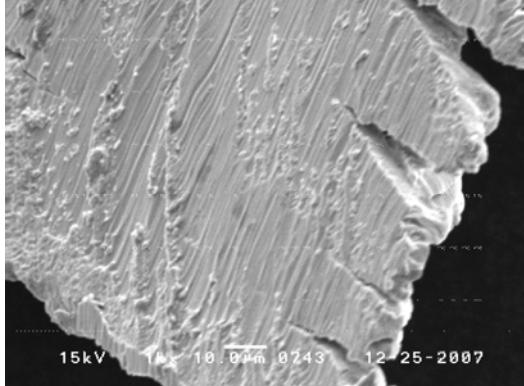
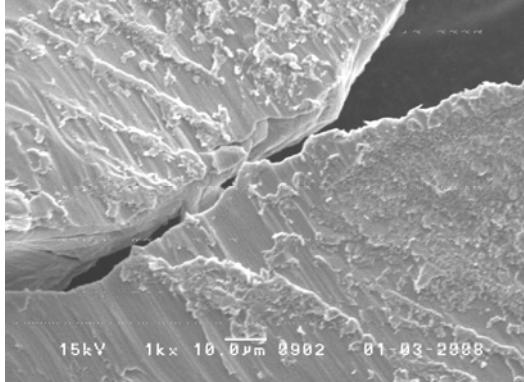
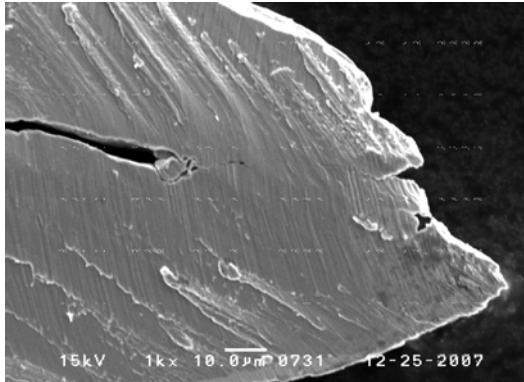
| | 球刀種類 | 材料：低碳鋼(倍率 1000) |
|------|---|---|
| 球刀 A |  (鍍層：AlTiN) |  轉速：1000 進給率：500 |
| 球刀 B |  (鍍層：AlTiN +PLC) |  轉速：1000 進給率：500 |
| 球刀 C |  (鍍層：裸刀) |  轉速：1000 進給率：500 |
| 分析 | 在同轉速、同深度、同材料，球刀 B(鍍層：AlTiN +PLC)所切削的切削面為魚鱗紋，球刀 C(鍍層：裸刀)較其他刀具佳，表面也較其他刀具均勻，故球刀 C(鍍層：裸刀)較適合此參數。 | |

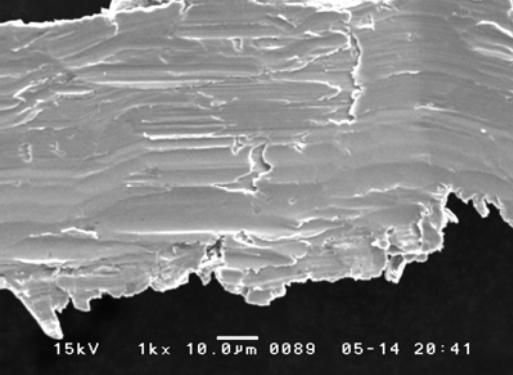
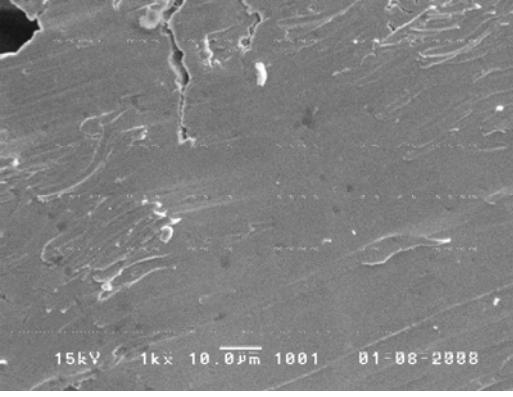
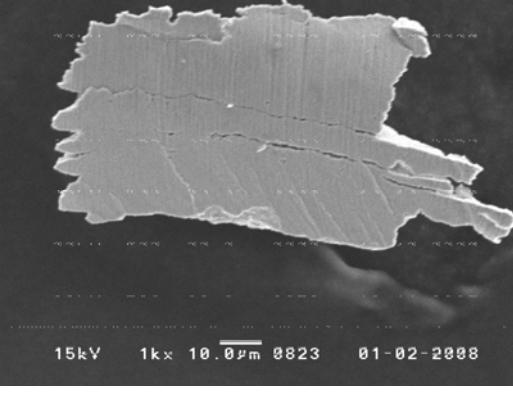
| | 球刀種類 | 材料：鈦合金(倍率 1000) |
|------|--|--|
| 球刀 A |  (鍍層：AlTiN) |  20kV 1kx 10.0µm 0698 12-19-2007 <p>轉速：1000 進給率：500</p> |
| 球刀 B |  (鍍層：AlTiN +PLC) |  15kV 1kx 10.0µm 0865 01-03-2008 <p>轉速：1000 進給率：500</p> |
| 球刀 C |  (鍍層：裸刀) |  15kV 1kx 10.0µm 0727 12-26-2007 <p>轉速：1000 進給率：500</p> |
| 分析 | 在同轉速、同深度、同材料，在上圖中，球刀 A(鍍層：AlTiN)所切削的切屑表面較其他刀具佳，而球刀 B(鍍層：AlTiN +PLC)有過多不均勻的刀痕，有很多不均勻的力，故球刀 A(鍍層：AlTiN)較適合此參數。 | |

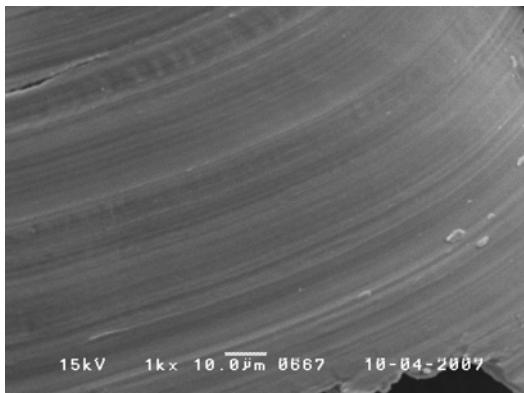
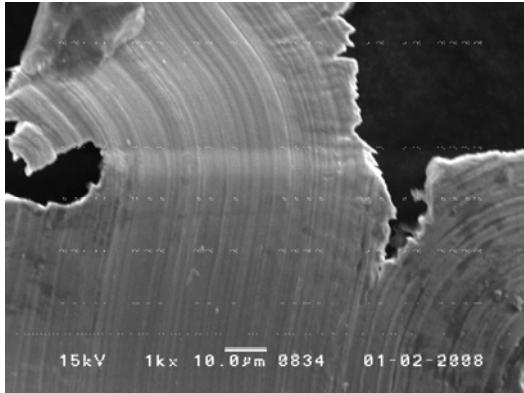
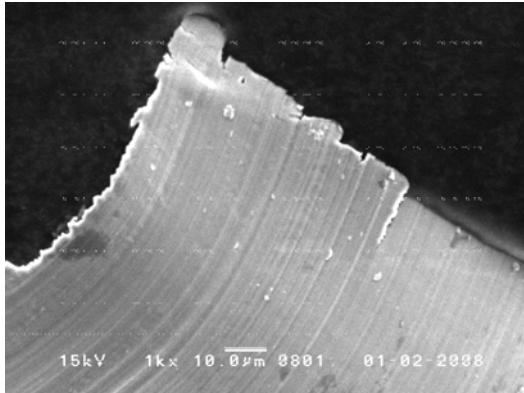
| | 球刀種類 | 材料：不鏽鋼(倍率 1000) |
|------|--|---|
| 球刀 A |  (鍍層：AlTiN) |  轉速：1000 進給率：500 |
| 球刀 B |  (鍍層：AlTiN + PLC) |  轉速：1000 進給率：500 |
| 球刀 C |  (鍍層：裸刀) |  轉速：1000 進給率：500 |
| 分析 | 在同轉速、同深度、同材料，球刀 A(鍍層：AlTiN)明顯較其他刀具有不均勻的擠壓力，而球刀 B(鍍層：AlTiN + PLC)無明顯刀痕，此參數選用球刀 C(鍍層：裸刀)較為適當。 | |

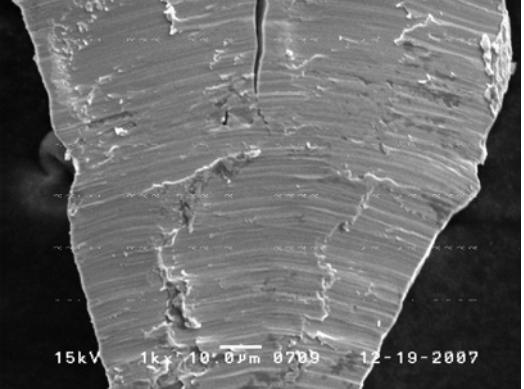
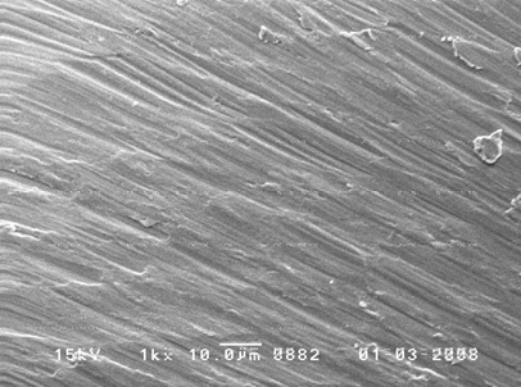
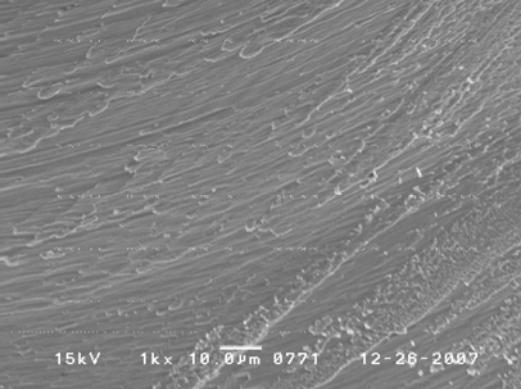
| | 球刀種類 | 材料：低碳鋼(倍率 1000) |
|------|---|---|
| 球刀 A |  (鍍層：AlTiN) |  轉速：10000 進給率：1000 |
| 球刀 B |  (鍍層：AlTiN +PLC) |  轉速：10000 進給率：1000 |
| 球刀 C |  (鍍層：裸刀) |  轉速：10000 進給率：1000 |
| 分析 | 在同轉速、同深度、同材料，球刀 B(鍍層：AlTiN +PLC)針對黑鐵材料所切出的鐵屑，紋路皺褶多且有明顯的裂痕，而球刀 A(鍍層：AlTiN)和 C(鍍層：裸刀)適合配合此轉速的切屑。 | |

| | 球刀種類 | 材料：鈦合金(倍率 1000) |
|------|---|--|
| 球刀 A |  (鍍層：AlTiN) |  15kV 1kx 10.0µm 0703 12-19-2007 <p>轉速：10000 進給率：1000</p> |
| 球刀 B |  (鍍層：AlTiN +PLC) |  15kV 1kx 10.0µm 0888 01-03-2008 <p>轉速：10000 進給率：1000</p> |
| 球刀 C |  (鍍層：裸刀) |  15kV 1kx 10.0µm 0749 12-25-2007 <p>轉速：10000 進給率：1000</p> |
| 分析 | 在同轉速、同深度、同材料，因為轉速的提高和進給的增加，三種球刀所切出鈦合金的切屑都非常平整。 | |

| | 球刀種類 | 材料：不鏽鋼(倍率 1000) |
|------|---|---|
| 球刀 A |  (鍍層：AlTiN) |  轉速：10000 進給率：1000 |
| 球刀 B |  (鍍層：AlTiN +PLC) |  轉速：10000 進給率：1000 |
| 球刀 C |  (鍍層：裸刀) |  轉速：10000 進給率：1000 |
| 分析 | 在同轉速、同深度、同材料，因為不鏽鋼的具有少量延性，又配合高轉速高進給量，所切出的切屑表面有較凹凸不平的斑紋，但相較之下球刀 C(鍍層：裸刀)較適合。 | |

| | 球刀種類 | 材料：低碳鋼(倍率 1000) |
|------|---|---|
| 球刀 A |  (鍍層：AlTiN) |  轉速：50000 進給率：2000 |
| 球刀 B |  (鍍層：AlTiN +PLC) |  轉速：50000 進給率：2000 |
| 球刀 C |  (鍍層：裸刀) |  轉速：50000 進給率：2000 |
| 分析 | 在同轉速、同深度、同材料，由上圖可看出球刀 B(鍍層：AlTiN +PLC)可以看出有明顯的不均勻面，而相較之下球刀 C(鍍層：裸刀)較完整和光滑，故此球刀 C(鍍層：裸刀)較適合此參數。 | |

| | 球刀種類 | 材料：鈦合金(倍率 1000) |
|------|---|--|
| 球刀 A |  (鍍層：AlTiN) |  15kV 1kx 10.0µm 0567 18-04-2007 <p>轉速：50000 進給率：2000</p> |
| 球刀 B |  (鍍層：AlTiN +PLC) |  15kV 1kx 10.0µm 0834 01-02-2008 <p>轉速：50000 進給率：2000</p> |
| 球刀 C |  (鍍層：裸刀) |  15kV 1kx 10.0µm 0801 01-02-2008 <p>轉速：50000 進給率：2000</p> |
| 分析 | 在同轉速、同深度、同材料，球刀 A(鍍層：AlTiN)切削面最為光滑，而且刀痕明顯，相較之下，其他刀具遜色，故在此參數下球刀 A(鍍層：AlTiN)最佳。 | |

| | 球刀種類 | 材料：不鏽鋼(倍率 1000) |
|------|---|---|
| 球刀 A |  (鍍層：AlTiN) |  轉速：50000 進給率：2000 |
| 球刀 B |  (鍍層：AlTiN +PLC) |  轉速：50000 進給率：2000 |
| 球刀 C |  (鍍層：裸刀) |  轉速：50000 進給率：2000 |
| 分析 | 在同轉速、同深度、同材料，在此參數下球刀 A(鍍層：AlTiN)有明顯的撕裂痕跡，而球刀 C(鍍層：裸刀)的刀痕並沒很明顯，球刀 B(鍍層：AlTiN +PLC)是最均勻的，此參數球刀 C(鍍層：裸刀)最佳 | |

第八章 結論

1. 在上述的分析中，可以得知在同轉速、同進給、及切削深度下，發現球刀 A(鍍層為 AlTiN)因擠壓素材所造成的切屑表面不完整，尤其是以切削低碳鋼與不鏽鋼之切屑最明顯，而球刀 A(鍍層為 AlTiN) 切削低碳鋼轉速 10000 進給率 1000 時切削面為佳，研判此銑刀的擠壓力或切削阻力過大，才會造成其他素材之切屑面粗糙，而三個參數中切削鈦合金 (Ti6Al4V) 所得的切屑表面紋路最為均勻。

2. 球刀 B(鍍層為 AlTiN +PLC)切削鈦合金(Ti6Al4V)時的切削性均優於其它材料，又以切削鈦合金(Ti6Al4V)時轉速 1000 進給率 500 為最佳。球刀 B(鍍層為 AlTiN +PLC)切削低碳鋼時轉速越高，則切削面越光滑，所以在轉速 50000 進給率 2000 時切削低碳鋼切削面為佳，而切不鏽鋼大多均為不均勻之切削面。

3. 球刀 C(裸刀)在切削鈦合金(Ti6Al4V)之切削面為最佳，切削表面最為均勻。球刀 C(裸刀)在切削低碳鋼時轉速 50000 進給率 2000 切削面為佳，此參數的切削面僅次於鈦合金(Ti6Al4V) 的切削面，切削不鏽鋼時多為不均勻面，則此刀具較不適用於切削不鏽鋼。

4. 統整上述三段發現，以素材來說均以切削鈦合金(Ti6Al4V)之切削面為最佳，次為低碳鋼，後則為不鏽鋼。以刀具來說大多以球刀 C(裸刀)之切屑面較佳，但背面皺摺甚多，呈現不規則狀態，表示球刀 C 擠壓力過大，而不是切削力把切屑移除。則球刀 A(鍍層為 AlTiN)、球刀 B(鍍層為 AlTiN +PLC)則較適用於鈦合金(Ti6Al4V)之切削。

致謝

本專題能夠完成首先感謝張子欽老師及碧威股份有限公司在實驗上的指導與提供本專題實驗用之刀具及器材，實驗經費與設備才得以完成讓我們在銑削特定參數之切屑分析與研究方面有了認知與進一步了解。張子欽老師以及林金雄老師這麼細心的指導我們，使專題能夠順利完成，感謝宋寰欣學長教導如何操作掃描式電子顯微鏡及其它技術指導。於是我們都更加用心及努力的希望把專題做得盡善盡美，才不辜負兩位老師與廠商的一番苦心教導，最後再次謝謝兩位老師的指導。

參考文獻

- 電子顯微鏡 <http://elearning.stut.edu.tw/caster/3/no3/3-2.htm>
- 銑刀製作 <http://tw.myblog.yahoo.com/beeway-tool/gallery>
- 扭力扳手 <http://www.supertooling.com.tw/index.php>
- 銑刀製作過程 <http://tw.myblog.yahoo.com/beeway-tool/gallery>
- 李金山等主編，2003，”機械材料”，高立，臺北市
- 洪良德編著，2003，”切削刀具學”，全華，臺北市
- BW微型油霧渦流管槍 <http://tw.myblog.yahoo.com/beeway-tool/photo?pid=3230&prev=2973&next=344>
2
- 王瑞新，”高速主軸及高速切削簡介”，精機通訊技術專欄
- 石鐵鏗，1998，”高速銑削加工”，機械月刊第二十四卷第七期， pp.284