

國立勤益技術學院機械工程系
二技部專題製作報告

題 目 TiAlN披覆鎢鋼刀具實驗

指 導 教 授：張 子 欽

指 導 教 授：王 丁

組 員：楊 振 昇

組 員：黃 仲 杰

中 華 民 國 95 年 1 月

摘要

近年來，高速切削搭配高硬度材料的使用是國內模具業者最近相當有興趣的加工技術，尤其針對輕薄短小之電子產品模具以及其交期之緊迫性，已有越來越多業者配合CNC高速工具機使用。使用抗磨耗超硬陶瓷薄膜這種硬膜的好處能提高工作效能外，尚有延長工、模具壽命之功用。最常被應用的材料是過鍍金屬的氮化物，如氮化鈦(TiN)、氮碳化鈦(TiCN)、氮化鋁鈦(TiAlN)，此類陶瓷材料大都有硬度高、熔點高、化學穩定性佳的優點。

本文主要探討利用PVD多陰極電弧電漿法，被覆多層鍍層TiAlN的基本性質、顯微組織、磨耗特性、切削性質、高溫氧化性。同時考慮切削因素：切速、進給、切深、被切削材、銑削方式等影響性，然後使用NC綜合加工機進行乾式銑削實驗，並同時將鍍膜經快速退火爐進行氧化，並用XRD分析其不同氧化溫度材料的變化，再使用SEM觀察刀具鍍膜層與切削的磨耗程度。

前言

近年來，使用PVD蒸鍍低摩擦係數、高耐磨耗性之鍍膜具有優良的使用效果，各國對此項技術一直保有高度的興趣。低摩擦係數、高耐磨耗性的含碳金屬鍍膜，通常是在底材溫度約 200°C 至 400°C 時進行蒸鍍，因此特別適合應用於刀具與機械元件。開發新式的低摩擦係數、高耐磨耗性之鍍膜有許多方式，例如被覆TiC/TiCN/TiN多層結構或在類鑽碳膜鍍層上被覆MoS₂，這些鍍層已成功地應用在切削刀具、成形模具等場合。

研究目的與動機

近幾年來以物理氣相沈積法(PVD)的方式，在高速鋼切削刀具或碳化鎢材料表面鍍上一層約 $3-5\mu\text{m}$ 陶瓷材料，使刀具兼具有耐磨耗性及韌性特點，以提昇材料使用壽命的應用，在工業界已十分的普遍與受到重視。

理論基礎與文獻回顧-兩種鍍膜方法之比較

	PVD (離子蒸鍍) 法	CVD 法
原理	物理的結合 ($Ti^{\oplus} + N^{\oplus} \rightarrow TiN$)	化學反應 ($TiCl_4 + 1/2N_2 + 2H_2 \rightarrow TiN + 4HCl$)
塗層物質	TiN、TiCN、(Ti,Al) N	TiC、TiN、TiCN、Al ₂ O ₃
殘留應力	壓縮應力	拉伸應力
優點	(1) 由於母材不會產生脆弱的反應層，因此強度不會降低。 (2) 產生新化合物之塗層。	(1) 由於塗層溫度很高 (850℃ ~ 1050℃)，因此附著強度很高。 (2) 可獲得耐熱性很高之 Al ₂ O ₃ 塗層。
缺點	(1) 附著力強度比 CVD 法差。 (2) Al ₂ O ₃ 之塗層很難實用化。	(1) 基材強度降低很嚴重。 (2) 很難產生像 (Ti,Al) N 之金屬間化合物。

理論基礎與文獻回顧-兩種鍍膜性質之比較

1. 選材：

化學蒸鍍—裝飾品、超硬合金、陶瓷。

物理蒸鍍—高溫回火之工、模具鋼。

2. 蒸鍍溫度、時間及膜厚比較

化學蒸鍍— 1000°C 附近，2~8小時， $1\sim 30\ \mu\text{m}$ (通常 $5\sim 10\ \mu\text{m}$)。

物理蒸鍍— $400\sim 600^{\circ}\text{C}$ ，1~3小時， $1\sim 10\ \mu\text{m}$ 。

3. 物性比較

化學蒸鍍皮膜之結合性良好，較複雜之形狀及小孔隙都能蒸鍍；唯若用於工、模具鋼，因其蒸鍍溫度高於鋼料之回火溫度，故蒸鍍後需重施予淬火一回火，不適用於具精密尺寸要求之工、模具。

理論基礎與文獻回顧-碳化鎢基材特性(1)

碳化鎢具有下列幾項特點：

- (1) 碳化鎢顆粒微小，具有優良耐微破裂特性。
- (2) 鈷合金包覆碳化鎢顆粒，使其可承受壓縮應力，增加耐脆性破壞強度。
- (3) 受冷卻收縮差異影響，發生壓縮變形前必須超越Co 黏結層受 拉伸之局部預應力。
- (4) 冷卻時，Co 結構由FCC 變為HCP，可改善黏結層局部延展性。

理論基礎與文獻回顧-碳化鎢基材特性(2)

影響WC-Co 合金強度的因素有：

- (1) 黏結相含量及粒度。
- (2) 碳化物粒度、結著度。
- (3) 合金碳量、低碳合金有關之 $\text{Co}_3\text{W}_3\text{C}$ 析出。
- (4) 殘留壓縮應力。
- (5) 組織的缺陷、不純物的種類及含量等。

理論基礎與文獻回顧-各種鍍膜的基本性質

膜種	色調	硬度(Hv)	摩擦係數	耐蝕性	耐氧化性	耐摩耗性	耐燒著性
TiN	黃金色	2000~2400	0.45	○	○	○	○
ZrN	淡黃金色	2000~2200	0.45	○	△	△	△
CrN	銀白色	2000~2200	0.30	◎	○	○	◎
TiC	銀白色	3200~3800	0.10	△	△	◎	○
TiCN	紫羅蘭色~灰	3000~3500	0.15	△	△	◎	○
TiAlN	紫羅蘭色~黑	2300~2500	0.45	○	◎	○	○
DLC	黑	1800~4000	0.1	◎	△	○	○

實驗方法與步驟-刀具製程步驟

將基材的原料、配方等製作完成，製程到完整的基材必須經過6種程序

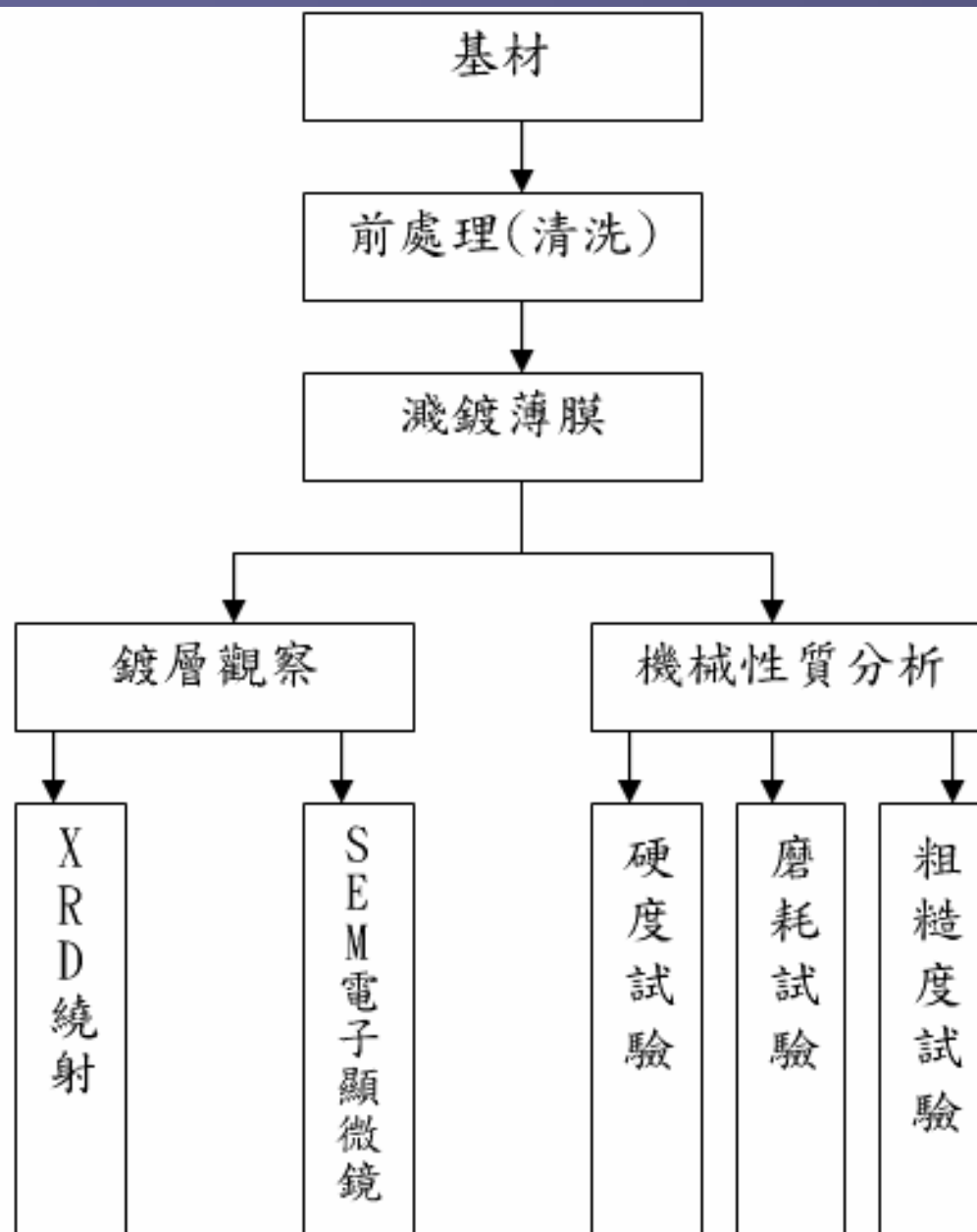


刀具(基材)剖面圖



刀具(基材)剖面OM100倍圖

實驗流程圖



實驗方法與步驟-刀具實驗實驗目的

本研究的刀具銑於SKD61模具鋼上進行切削，其中包含切削實驗、拋光程度實驗、鍍膜耐久度實驗，並觀察刀具的切削方式、排屑狀況、鍍膜損耗度來討論刀具的好壞。

銑削的同時，當銑削到每階段的長度時，停機取下刀具以OM量取刀具刀腹磨耗量，並進一步於SEM電子顯微鏡觀察磨耗型態及拍照記錄。被銑削材也在每階段長度量取其表面粗糙度，以便觀察刀具實際的磨耗型態。

本研究刀具參數測定試驗

實驗目的

先用同樣WC基材之TiAlN+PLC硬膜的銑刀，且大小規格一樣，在相同銑削對象為模具鋼，來進行不同轉速和進給的測試，由於不了解參數之預設條件，所以透過實驗與廠商提供參數條件來進行測試。

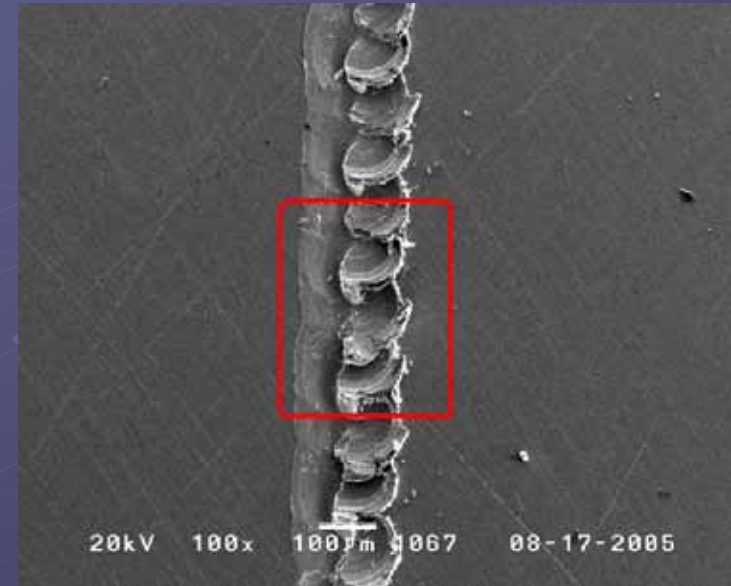
實驗參數

實驗參數	轉速 rev/min(PRM)	進給數率 mm/min	切削深度
1	5000	100	0.03 mm
2	5000	500	0.03 mm
3	8000	100	0.03 mm
4	8000	500	0.03 mm
5	10000	100	0.03 mm
6	10000	500	0.03 mm

本研究刀具參數測定試驗

實驗結論

在這些測試參數的過程中，在預定的進給率有大於500mm/min，由測試的圖片可看出來，進給率下太大會使銑削過程有被強拉的現象，使銑削不完全甚至有斷刀情況，經參考文獻後決定用進給率F：100mm/min的參數進行實驗。（上圖進給100mm/min，下圖進給500mm/min）



以流體拋光之銑刀進行切削實驗

實驗目的

以鍍TiAlN+PLC硬質薄膜之微小徑兩刃球刀，選用所測試出來的參數來進行實驗，以比較切削面的不同來判斷刀具的好壞，然後設定六種不同流體拋光程度的刀具，其為等級一~六的刀具來實驗。

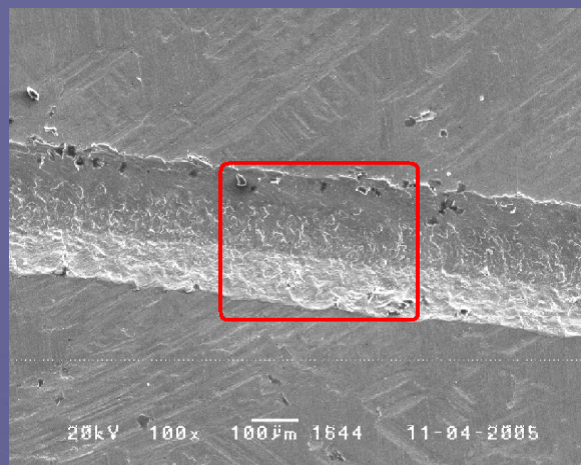
流體拋光程度區分

	刀具 1	刀具 2	刀具 3	刀具 4	刀具 5	刀具 6
拋光程度	等級一	等級二	等級三	等級四	等級五	等級六
拋光時間(min)	10	15	20	10	15	20
流體顆粒	HSC1/500	HSC1/500	HSC1/500	H1/400	H1/400	H1/400

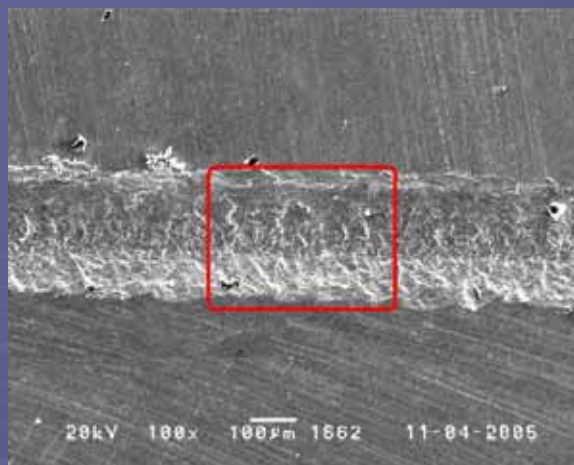
以流體拋光之銑刀進行切削實驗

實驗結論

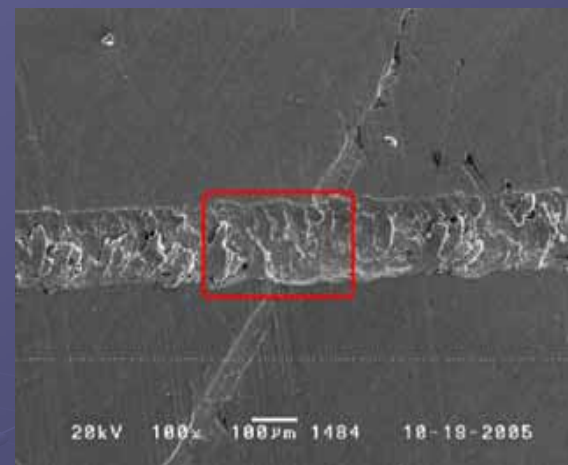
因由以上驗結果得知，流體拋光程度越久而使刀具越不銳利，使得在切削時聲音越大，且切削表面也因而越來越不平滑，而拋光等級一之刀具所切削出來的表面最佳，聲音也最小，反之等級六的最差。



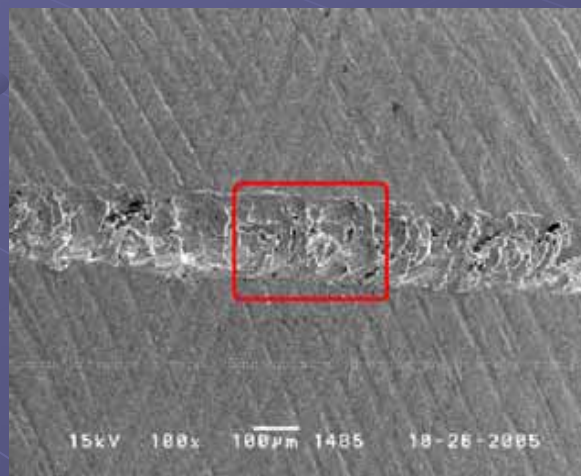
拋光等級一



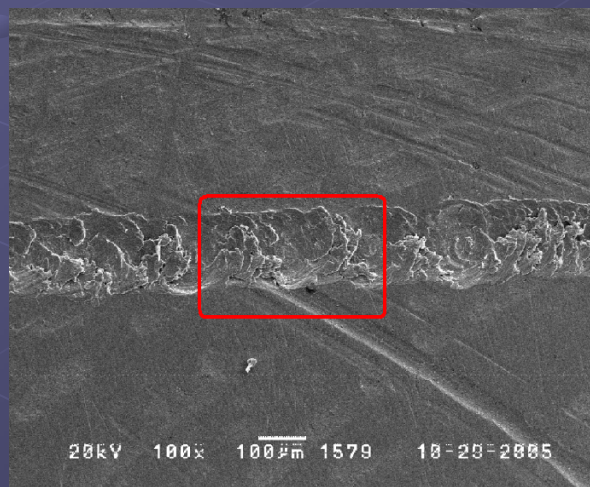
拋光等級二



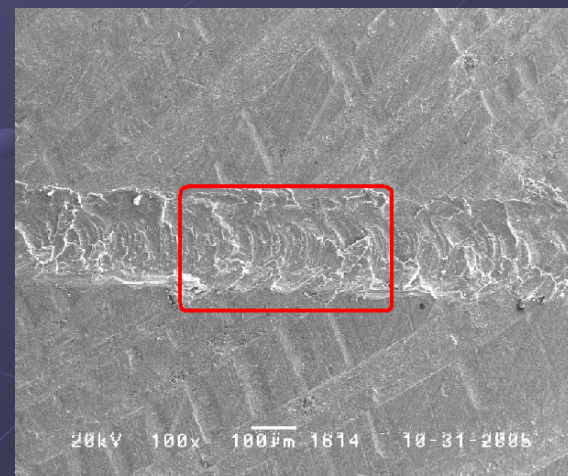
拋光等級三



拋光等級四



拋光等級五



拋光等級六

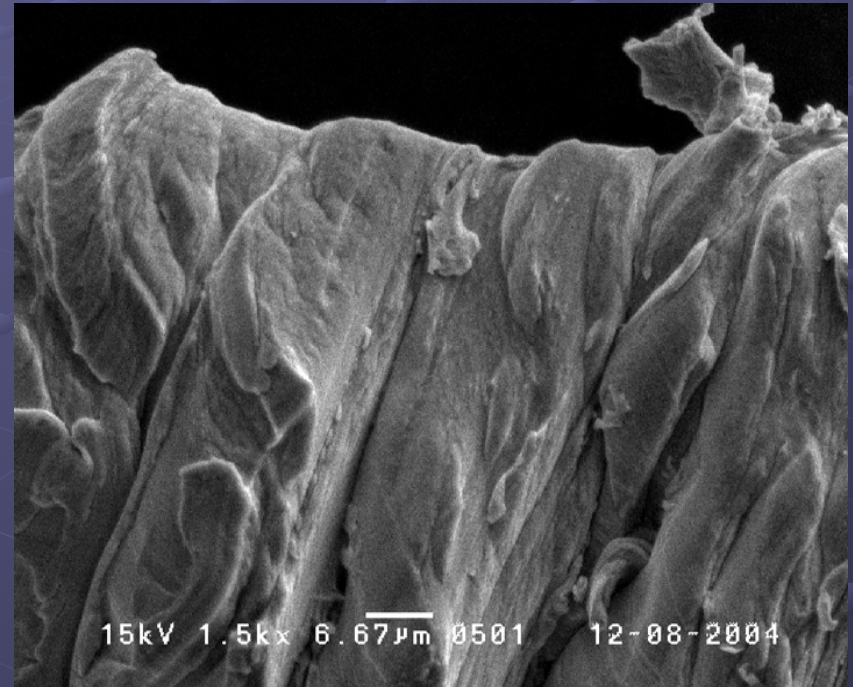
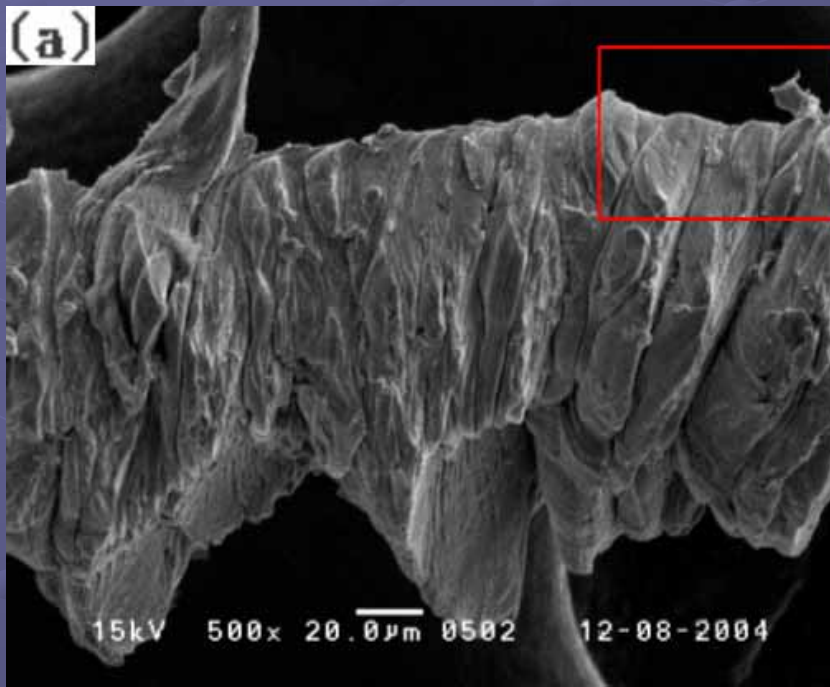
鍍層材質比較實驗

實驗目的

鍍層材質的好壞，會影響一把刀具的耐磨耗性與使用壽命，切削性與表面粗糙度等，所以本研究將三把相同的刀具，以不同鍍膜材質來進行實驗，測試比較其鍍膜的磨耗程度與其使用壽命，並觀察紀錄鍍層對刀具的影響。

不同鍍膜刀具切削實驗SEM照片-NG

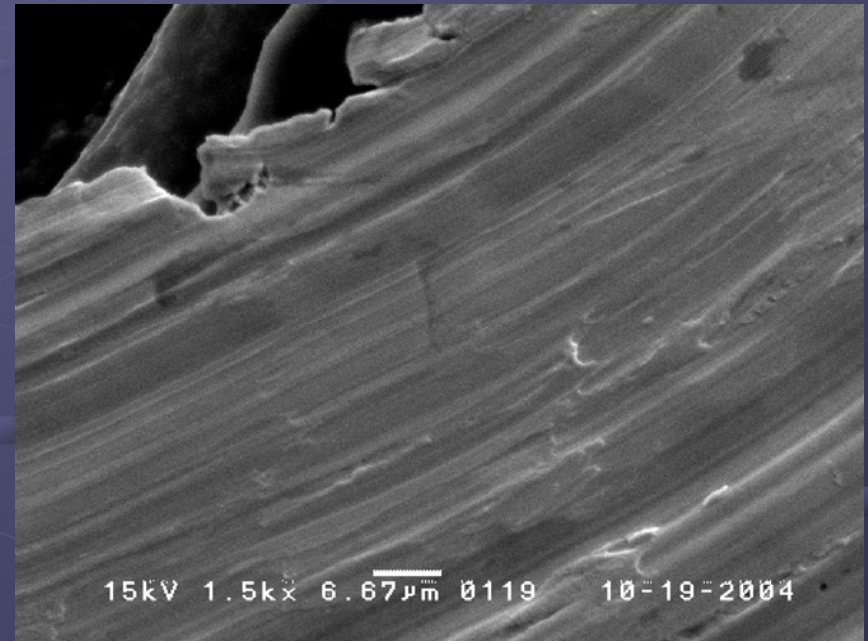
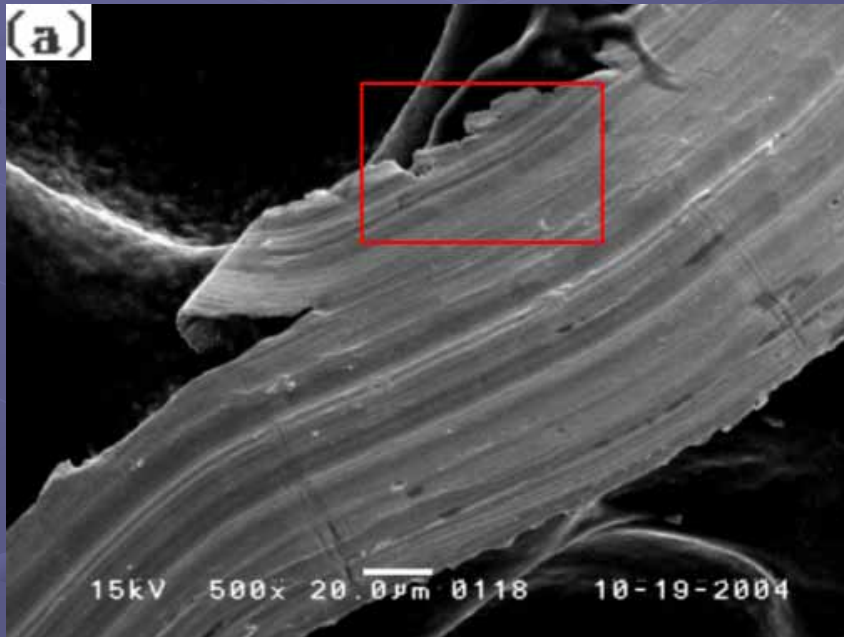
切削條件:轉速2000 rev/min(RPM) 進給500mm/min 切削深度0.06mm



此圖為第23次切削時所拍的圖，其發生表面粗糙度變差，切削距離2300mm。
此圖是第23次切削的鐵屑圖(左圖為500倍，右圖為1500倍)

不同鍍膜刀具切削實驗SEM照片-TiAlN

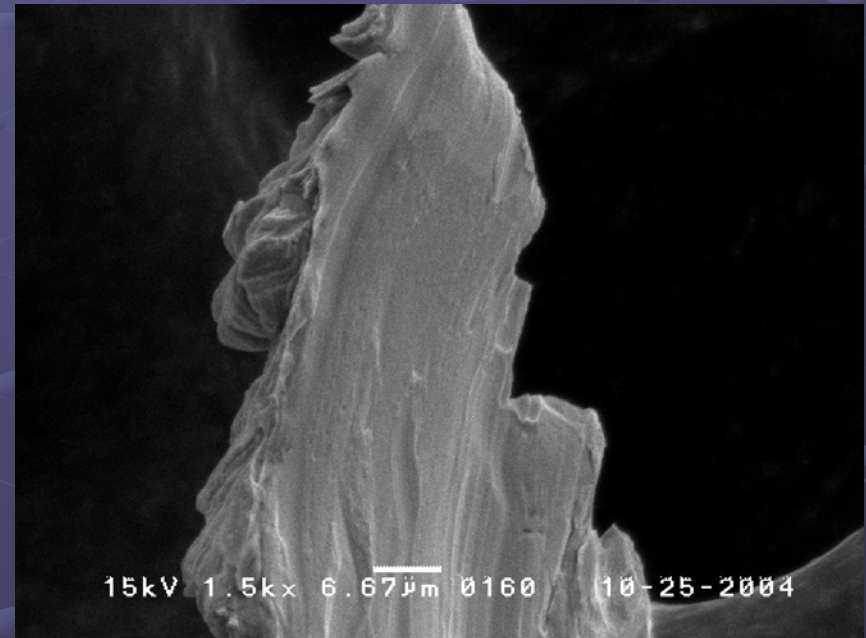
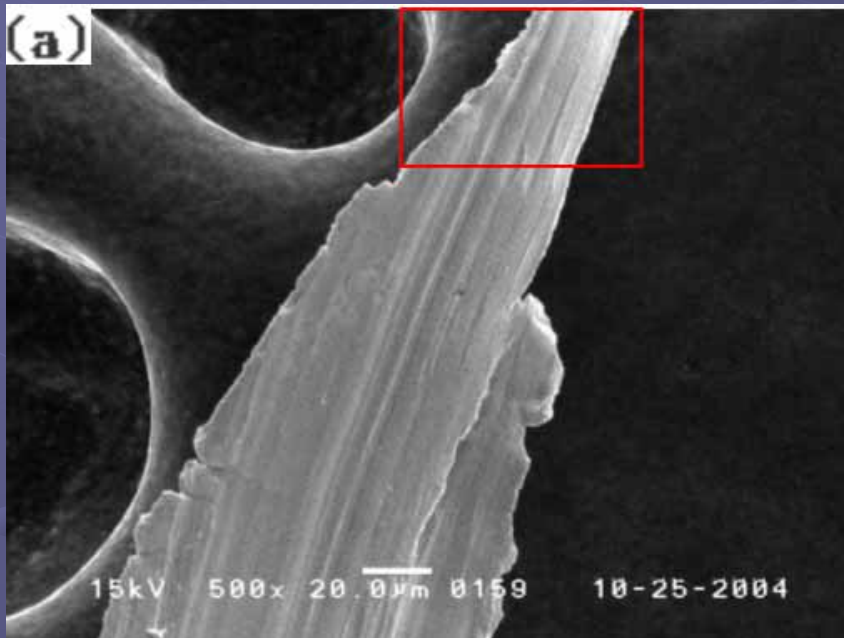
切削條件:轉速2000 rev/min(RPM) 進給500mm/min 切削深度0.06mm



此圖為第5次切削時所拍的圖，其發生切削紋路異常，切削距離500mm。
此圖是第5次切削的鐵屑圖(左圖為500倍，右圖為1500倍)

不同鍍膜刀具切削實驗SEM照片－ PVT-ROSE

切削條件：轉速2000 rev/min(RPM) 進給500mm/min 切削深度0.06mm



此圖為第14次切削時所拍的圖，其發生切屑異常，切削距離1400mm。
此圖是PVT-ROSE第14次切削的鐵屑圖(左圖為500倍，右圖為1500倍)

鍍層材質比較實驗

實驗結論

NG End Mills的鍍膜狀況較佳，適合用於高硬度材質上進行長時間的高速的加工，而TIALN還有改進的地方，由於鍍膜材質上的不佳，導致耐磨性較差不太適合運用在高速加工上，但是在正常加工上有不錯的表現，而PVT-ROSE的鍍膜漂亮適合度在手錶或其他裝飾品上增加可看度，也可增加耐磨，PVT-ROSE在銅鋁材料加工上有著不錯的表現。

氧化試驗

使用設備：快速退火爐(RTA)

操作參數：分別在 300°C 、 500°C 、 800°C 、 900°C 、 1000°C 、 1100°C 五個溫度下持溫一小時，升溫速率微 $5^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 。

分析：以XRD鑑定鍍膜在不同溫度氧化的相變化，及分析不同溫度的氧化行爲。

X-ray分析

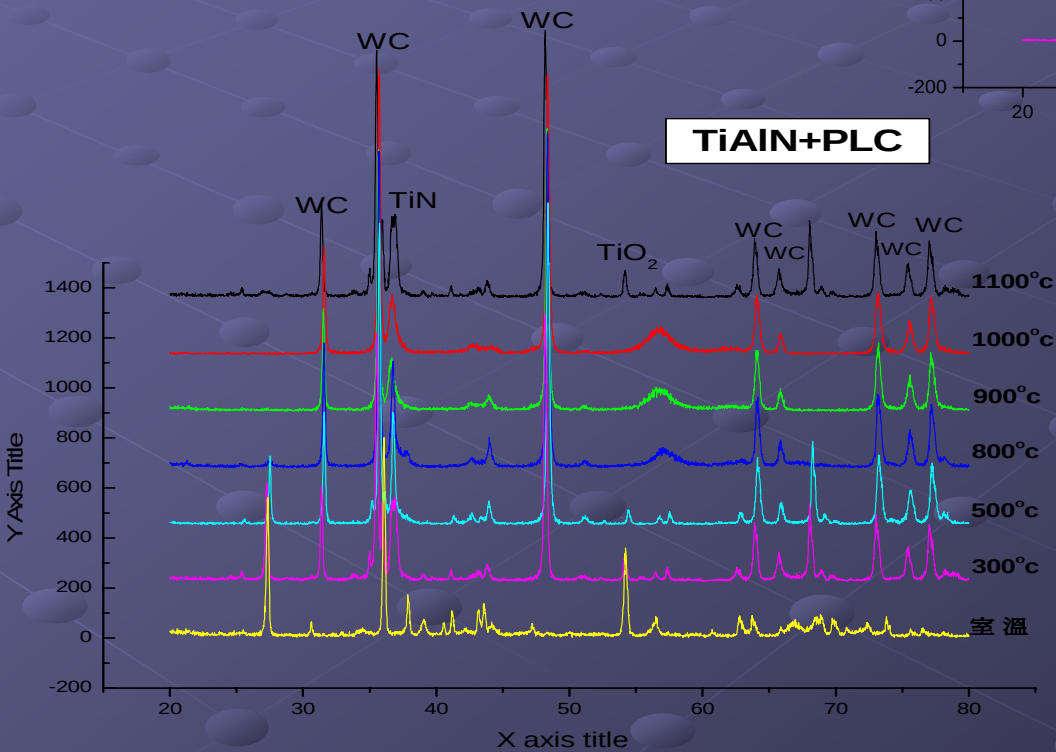
操作參數：Cu靶：40Kv、30mA

掃描速度：1度/分

掃描範圍：20~80度

掃描間格：0.02度

使用目的：比較鍍膜在氧化前與不同溫度氧化後之晶體結構及晶粒成長之優選方位的差異變化，即分析鍍膜氧化前後的相變化。



結果與討論-影響鍍膜品質之因素

- (1) 基材表面情況：如基材表面型態（粗糙度，微粒子的污染等）、表面的化學性（表面的組成，污染物），機械性質、表缺陷及表面的穩定性等。
- (2) 濺鍍條件：沉積時入射離子的入射角度、基板溫度、基板偏壓、沉積速率、腔體總壓、反應氣體流量、腔體真空度、沉積時間、靶與基材的距離、殘餘氣體污染及產生離子轟擊之能量。
- (3) 薄膜於基板表面沉積現象：界面的形成、界面缺陷的產生、基板溫度、吸附原子的表面遷移率、薄膜的成長型態及沉積時膜的性質改變等。
- (4) 沉積後的處理及反應：薄膜表面與週遭環境的反應、腐蝕及界面的退化等。

結果與討論-在銑刀銑削方面

- (1) 最適的刀具耐磨耗切削條件是雙層鍍膜、低切速、大進給、大切深、逆銑削、正常化被切削材料，而且雙層鍍膜的耐磨耗性優於單層鍍膜與無鍍膜刀具。
- (2) 熱裂紋的生成隨著切削速度、切削進給、切削深度及被切削材的硬度增加而增加，並且以切削速度影響性最大。
- (3) 疲勞裂紋的生成則是隨切削進給、切削深度及被切削材的硬度增加而增加，而且順銑削方式也是造成疲勞裂紋的一項因素。
- (4) 雙層鍍膜的熱裂及疲勞裂紋數量及程度均小於單層，也就是雙層鍍膜有較高的防熱裂紋和防止疲勞裂紋的擴展性。
- (5) 再使用較高的切削速度時，可大量降低刀具之磨耗的影響性變大；切速越高所產生的磨耗量差別更大，而且雙層鍍膜的刀具在高速切削上較單層鍍膜有更顯著的抗磨耗表現。

結果與討論-鍍層氧化行為與XRD分析

隨著氧化溫度的持續上升，鍍膜抗氧化反應逐漸下降，而導致膜層的脫落或蒸發，而XRD的分析也隨著氧化溫度的上升而分析的結果發現鍍層以脫落，而這樣會導致刀具的壽命減短。

銑削刀具實驗中必須提出探討有幾個主要原因有

- (1) TiAlN被覆刀具的刀腹磨耗量遠小於未被覆刀具；被覆層的刀腹磨耗量隨切削量與切削速度的增加而逐漸加大。
- (2) 刀腹磨耗量對切削量的斜率可分為三個區域；低切速與低切除量時最低；高切速與高切除量時較高；為被覆刀具則有最大的斜率。

結論(1)

在刀具方面：由實驗測試和參考資料來了解低進給適合此刀具，而刀具在受到拋光程度的影響，可能會使刀具的銳利度減低，而在切削時會更不順暢，實驗結論得知拋光等級一的刀具最佳，切削表面最平滑和切削時聲音也最小，另外由實驗了解在刀具表面鍍上一層硬膜會增加刀具壽命、耐摩耗性...等一些增加刀具強度的性質。

結論(2)

在鍍膜方面：我們由幾個實驗(XRD分析、氧化實驗、維克氏硬度試驗)得知，鍍膜的耐熱性質，會隨著溫度的升高而鍍層硬度也會逐漸下降，導致刀具壽命降低；在XRD分析時在角度幾度時會反應出現什麼晶體結構，也依照溫度的上升而分析的結果發現鍍層脫落，而結果討論出來TiAlN+PLC的鍍膜耐摩耗性、切削面狀況和排屑狀況都比其他鍍膜(TiC、TiCN)來的好，且適合用於高硬度材質上進行長時間的高速加工。

結論(3)

本次專題在試驗多種刀具的實驗，不管在刀具拋光程度上的不同或刀具不同的鍍膜，以及切屑的SEM觀察和被切削材料的刀痕走向OM觀察，與鍍膜的氧化行為和XRD的晶體結構與晶粒成長的結構分析，讓我學到了許多儀器與實驗方法和製造流程與結果分析，非常感謝老師的指導與學校提供的設備和同儕的幫忙。