

投稿類別：工程技術類

篇名：

軟實力和硬實力！--測試物質及超硬合金硬度之分析

作者：

吳孟哲。臺北市私立景文高中。資訊科二年 1 班。

劉沐昀。臺北市私立景文高中。資訊科二年 1 班。

謝震昭。臺北市私立景文高中。資訊科二年 1 班。

指導老師：

吳永義 老師

壹、前言：

一、研究動機

日常生活中，常看到鑽石，除了可觀賞，也可以拿來切割。資源隨著人類的開發越來越少，天然鑽石有一天也會用盡，那時哪些東西會比天然鑽石還硬？陳世程、施議訓（2008）指出「**在高溫高壓下燒結生產方式來製造硬度高稱為合成金剛石等複合材料**」，本研究想測量各種物質及超硬合金不同硬度的分析。

二、研究目的

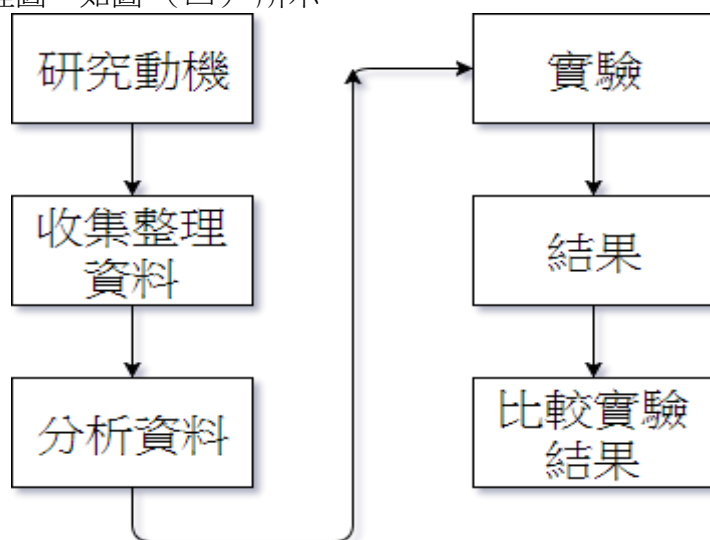
1923年由德國人夏特洛的專利結合碳化物專利提出超硬合金的概念，二次大戰後機械時代來臨，應用在切、削、鑽、挖，等機械製造需要。有許多種類結合劑被添加到超硬合金中，取代工業鑽石的地位，並提高超硬合金之性質，本研究的目的是對如此高硬度材料的成分結構，關於耐磨損抗彎曲的特性，並了解甚麼物質最硬的金屬及硬度的意義。

三、研究方法

維基百科碳化鎢指出「**碳化鎢 WC 硬質合金的特徵是高硬度，尤其在高溫下硬度降低。**」因此採用硬質和金耀球耐磨損性、足夠的抗彎程度。本研究方法以硬質合金就測試材料、記錄數據、資料分析、比較材料等的硬度做探討研究。

四、研究流程

研究流程之流程圖，如圖（四）所示。



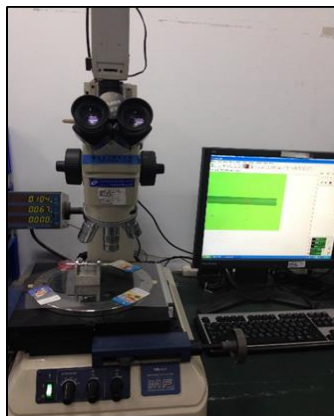
圖（四）研究流程圖

五、實驗材料及工具：

- （一）使用材料有不鏽鋼、鋁、黃銅、超硬合金，如圖（五）、表（一）所示。
- （二）使用工具有光學顯微鏡，如圖（六）所示。



圖（五）使用材料



圖（六）光學顯微鏡

表（一）實驗材料表

編號	材料	規格	數量	備註
1	不鏽鋼	302	1	
2	鋁	純鋁	1	
3	黃銅	C2600	1	
4	超硬合金	碳化鎢	1	

貳、正文：

一、參考資料

硬度高材料在高溫下特別硬度降低小，要求耐磨損性，最重要的是要有足夠抗彎的強度來維持硬質硬質合金是機械加工中一種常用的合金材料。壹讀超硬合金指出「硬質合金通常用於製造切削刀具、模具以及高耐磨零件等。」硬質合金還常用於製造量具和耐磨零件，尤其是在量具的易磨損表面鑲嵌和零件、磨床、軸承等耐磨的物件，其實鎢鋼、碳化鎢、超微粒鎢鋼、超硬合金都是同一類，其成份為碳化鎢（WC）加入一些微量元素來增加硬度和耐磨度。

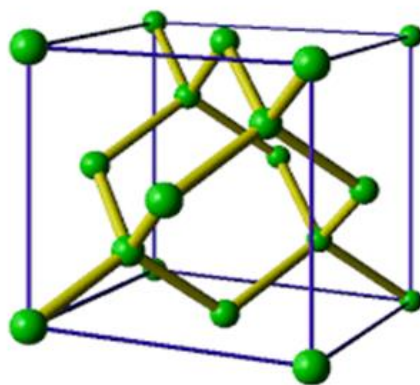
（一）碳化物

維基百科碳化物指出「碳化物是碳與電負性比其它低的或和其相近元素化合生成的化合物，在工業上有很多用途。」碳化物一般按以下標準分類：

1. 離子碳化物常見有碳化鈣俗稱「電石」。
2. 共價碳化物有碳化矽是硬度很高的晶體，可以用來制磨石、砂輪等。
3. 間隙碳化物有類似金屬的性質，有碳化鈦和碳化鎢都是超硬材料。

(二) 工業鑽石金剛石的晶體結構 HOP

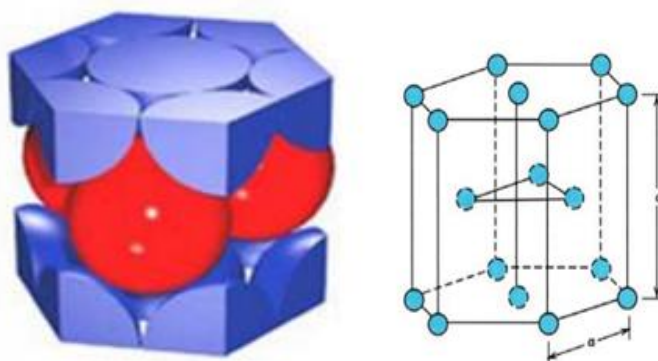
鑽石的正八面體立方面心的晶體結構，如圖（一）所示，電子全部形成共價鍵而沒有自由電子。其晶體結構亦使得鑽石成為最堅硬的物質。在金剛石晶體中，碳原子按四面體成鍵方式互相連接，組成無限的三維骨架，是典型的原子晶體。每個碳原子都以 sp^3 雜化軌道與另外 4 個碳原子形成共價鍵，構成正四面體。由於金剛石中的 C—C 鍵很強，所有的價電子都參與了共價鍵的形成，沒有自由電子，所以金剛石硬度非常大，熔點在華氏 6900 度，金剛石在純氧中燃點為 $720\sim 800^\circ\text{C}$ ，在空氣中為 $850\sim 1000^\circ\text{C}$ ，而且不導電，褚德三（2006）指出「物質熔點溫度越高其硬度越大」。



圖（一）正八面體立方晶體結構

(三) 碳化鎢六方體晶體結構 HCP

碳化鎢六方體晶體結構，有一個 6 次對稱軸或者 6 次倒轉軸，該軸是晶體的直立結晶軸 C 軸。另外三個水平結晶軸正端互成 120° 夾角。如圖（二）所示，形狀似足球，共 20 個六角形，12 個五角形。鍵結與石墨相同，為 sp^2 混成。每二個碳原子之間具一個 π 鍵，60 個碳共 30 個 π 鍵，90 個 σ 鍵。



圖（二）六方體晶體結構

(四) 硬度原理

職業訓練局黃喜雄（2001）指出「**硬度測試是量測材料抵抗塑性變形的能力，機械性質試驗中最为常用，也是比較容易試驗的一種方法。**」是在控制負荷條件和應用速率條件下將一小壓痕器壓入材料的表面來作測試。量測壓痕的深度和尺寸大小，轉換成硬度數值。較軟的材料有較大且較深之壓痕，且有較低之硬度指數。洛氏硬度是量測硬度最長用的方法，經由不同壓痕器(壓子)和不同負荷的組合會有數種不同的尺度可資利用，鉛筆硬度計屬於劃痕硬度測試儀器的一種。是一個簡單快捷的方法，利用鋒利的邊緣在粗糙的表面或在塗層表面上劃痕，從而測試塗層的硬度，如圖（三）所示。



圖（三）鉛筆硬度計

(五) 硬質合金特性

碳化鎢的硬質合金其性能，江元壽（2011）指出「**可以用硬度、矯頑磁力及抗折力等方法，將超硬合金性質上微小的變化加以量化處理分析**」，即是以鑽石針頭對測試片，施以不同的荷重，記錄壓痕之裂紋長度合之變化，再由荷重對裂紋長度關係可以得到裂紋趨勢斜率，因此斜率與破裂韌性有關。







(六) 硬質合金應用

硬質合金中主要成分為碳化鎢和鈷，其占有成分的 99%，1%為其他金屬，也被稱作鎢鋼，益鼎興公司指出「**用高耐熱性和高耐磨性的金屬碳化物(WC、TiC等)粉末作基體，金屬 Co 等為黏結劑，壓制後燒結成的粉末冶金製品。**」其用於高精度刀具材料、衝擊鑽鑽頭、玻璃刀刀頭、瓷磚割刀，堅硬不怕退火、0 質脆，屬於稀有金屬之列。硬質合金可製作鑿岩工具、金屬磨具、汽缸襯裡、精密軸承、噴嘴等。

三、實驗過程與步驟

先利用美工刀切割材料如圖（七~十）所示，用光學顯微鏡觀察記錄材料切割深度，再以碳棒畫材料如圖（十一、十二）所示，用光學顯微鏡觀察記錄磨損，進而推論出是四種材料中物質的硬度比較分析。

軟實力和硬實力！--測試物質及超硬合金硬度之分析

	
圖（七）不鏽鋼	圖（八）黃銅
	
圖（九）鋁	圖（十）超硬合金
	
圖（十一）碳棒原圖	圖（十二）碳棒磨損圖

四、實驗結果分析

以美工刀切割不同材料紀錄切割深度，利用工具光學顯微鏡測量數據紀錄資料，如表（二）所示。

表（二）切割深度實驗紀錄表

材料 次數	不鏽鋼	鋁	黃銅	超硬合金
1	6 μ m	63 μ m	21 μ m	1 μ m
2	9 μ m	66 μ m	24 μ m	0 μ m
3	9 μ m	64 μ m	20 μ m	2 μ m
4	7 μ m	63 μ m	21 μ m	1 μ m
5	8 μ m	63 μ m	23 μ m	0 μ m

軟實力和硬實力！--測試物質及超硬合金硬度之分析

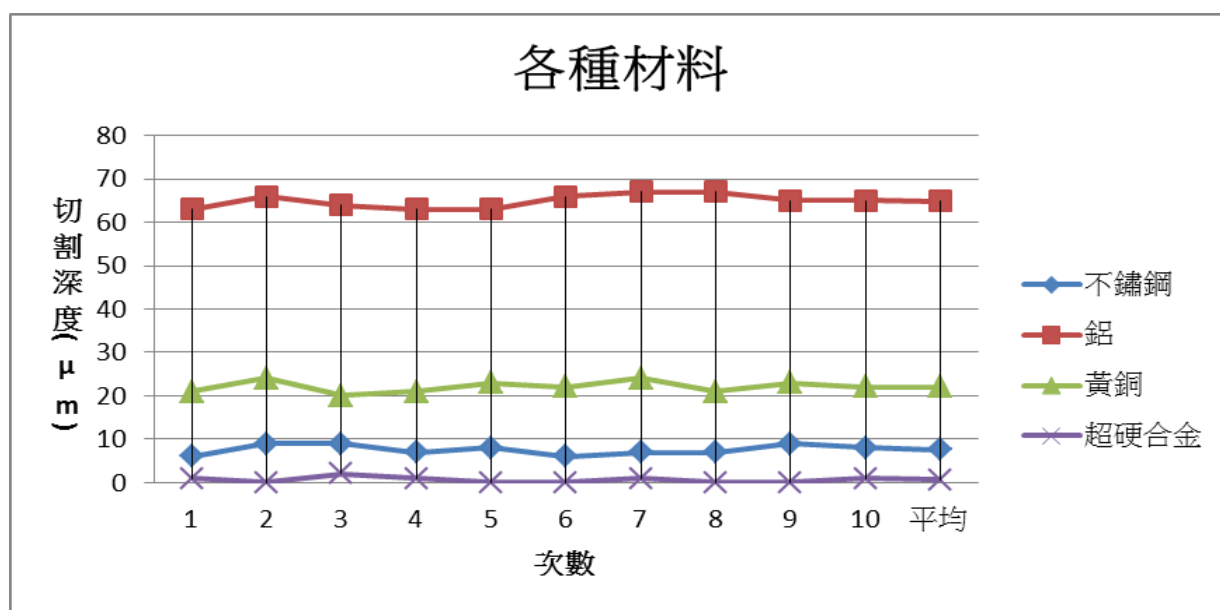
6	6 μ m	66 μ m	22 μ m	0 μ m
7	7 μ m	67 μ m	24 μ m	1 μ m
8	7 μ m	67 μ m	21 μ m	0 μ m
9	9 μ m	65 μ m	23 μ m	0 μ m
10	8 μ m	65 μ m	22 μ m	1 μ m
平均	7.6 μ m	64.9 μ m	22.1 μ m	0.7 μ m

以碳棒在不同材料畫線觀察碳棒磨損，利用工具光學顯微鏡測量碳棒磨損數據紀錄資料，如表（三）所示。

表（三）磨損實驗紀錄表

次數	材料	不鏽鋼	鋁	黃銅	超硬合金
1		525 μ m	180 μ m	285 μ m	840 μ m
2		480 μ m	205 μ m	305 μ m	794 μ m
3		495 μ m	235 μ m	345 μ m	812 μ m
4		510 μ m	195 μ m	310 μ m	798 μ m
5		485 μ m	215 μ m	295 μ m	788 μ m
6		500 μ m	205 μ m	275 μ m	832 μ m
7		520 μ m	185 μ m	325 μ m	821 μ m
8		490 μ m	200 μ m	300 μ m	781 μ m
9		535 μ m	175 μ m	335 μ m	825 μ m
10		475 μ m	210 μ m	280 μ m	776 μ m
平均		501.5 μ m	200.5 μ m	305.5 μ m	806.7 μ m

根據上述獲得資料數據，得到曲線分析圖，如圖（十三）、圖（十四）所示



圖（十三）切割深度曲線分析圖

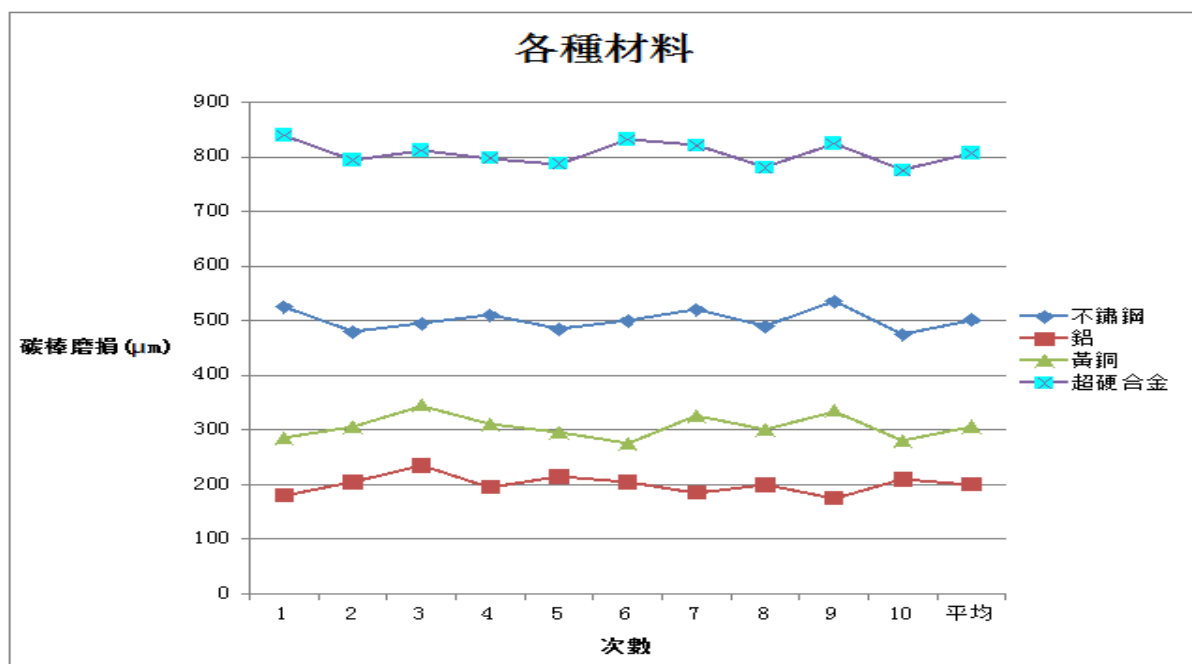


圖 (十四) 磨損曲線分析圖

如圖 (十三) 切割深度曲線分析圖可知，不鏽鋼用美工刀切割深度的平均約 $7.6 \mu\text{m}$ ，黃銅切割深度的平均約 $22.1 \mu\text{m}$ ，鋁切割深度約是 $64.9 \mu\text{m}$ ，而超硬合金切割的深度平均只有約為 $0.7 \mu\text{m}$ 。由此可以發現超硬合金被切割的深度是最淺的，進而推論出是四種材料中超硬合金為最硬的物質，其次是不鏽鋼、黃銅、鋁。如上圖 (十四) 磨損曲線分析圖及上表 (三) 記錄圖可知，不鏽鋼用碳棒磨損平均約 $501.5 \mu\text{m}$ ，黃銅磨損平均約 $305.5 \mu\text{m}$ ，鋁磨損是 $200.5 \mu\text{m}$ ，而超硬合金磨損平均約則為 $806.7 \mu\text{m}$ 。由此可以發現此次磨損之程度，超硬合金的碳棒磨損程度最多，所以超硬合金為最硬的物質，其次是不鏽鋼、黃銅、鋁等材料。

參、結論

碳及其化合物應用廣泛。碳可以和鐵形成合金。石墨與粘土混合可製成鉛筆芯，用於書寫還能用作潤滑劑顏料。人造合金即是燒結的碳化物，碳化鎢和粘合劑鈷是通過混合和燒結而獲得。工業鑽石硬度最高，具有硬度大、導熱性高、熔點高等等性質，可以使其在任何工業上無往不利然，但自然資源卻非常匱乏，硬質合金具有硬度高、耐磨、強度和韌性較好、耐熱、耐腐蝕等一系列優良性能，特別是它在高溫下，即使在 500°C 的溫度下硬度和耐磨性也保持不變，在 1000°C 時仍有很高的硬度，在其成份為碳化鎢 (WC) 加入一些微量元素來增加硬度和耐磨度，如下各種不同強度特性：

- 碳 (1.00%)：提高硬化深度及耐磨性。
- 鎳 (3.50%)：增加抗蝕性，且不易變形與生鏽。
- 鉻 (0.27%~0.65%)：增加硬度。
- 鉬 (0.20%~0.25%)：增加韌性，增加合金的高溫強度及抵抗潛變能力。
- 鈷 (0.50%)：增加耐熱性及耐磨性。

肆、引註資料：

江元壽（2011）。**機械材料 II**。新北市：勁園台科大圖書。

陳世程、施議訓（2008）。**機械材料 I**。新北市：全華圖書。

褚德三（2006）。**基礎物理（全）**。新北市：龍騰圖書。

維基百科碳化鎢。2018年02月18日，取自

<https://zh.wikipedia.org/wiki/%E7%A2%B3%E5%8C%96%E9%8E%A2>

壹讀超硬合金。2018年02月20日，取自 [https://read01.com/zh-](https://read01.com/zh-tw/y8mno.html#.Wr72NvmWbcs)

[tw/y8mno.html#.Wr72NvmWbcs](https://read01.com/zh-tw/y8mno.html#.Wr72NvmWbcs)

維基百科碳化物。2018年02月23日，取自

<https://zh.wikipedia.org/wiki/%E7%A2%B3%E5%8C%96%E7%89%A9>

黃喜雄（2001）硬度試驗，職業訓練局，取自 <https://portal.wda.gov.tw/pdf-resource/>

益鼎興公司。2018年02月20日，取自 <http://www.edsing.com.tw/Catalogs/2-2-10.pdf>