

Al₂O₃/NiAl 複合材料車削刀具之可行性研究

Feasibility Study of Using Al₂O₃/NiAl Composites as Cutting Tool Materials

計畫編號：NSC88-2216-E-002-029

執行時間：1998/08/01~1999/10/31

計劃主持人：張順太

執行機構：國立台灣大學材料科學與工程學研究所

一、摘要

本研究係以粉末冶金熱壓法製備 Al₂O₃/NiAl 複合材作為車削刀具材料，以真空硬鋸將之接合於中碳鋼之小型刀柄，以各種不同車削條件對非鐵系及鐵系等六種材料進行車削加工實驗，以探討其作為車削工具之可行性。初步實驗結果顯示對非鐵系之鋁、銅而言，車削刀口及刀面並未損傷，唯對車削黃銅者，則有車削刀口磨損情形。對鋼的車削，會因車削後傾角偏小而產生連續車屑排除不易，使刀口附近局部產生崩離及加工試樣過熱的現象。對鑄鐵的車削而言，車刀的磨耗不可避免，其磨耗的程度，對車削距離的影響並不敏感，但對進刀量的影響則顯著。對及低碳鋼的車削，因為車屑排除的問題，車刀也會因應力太大而局部崩離，與銅的車削相似。對不銹鋼的車削，則因為工件表面的加工硬化，使刀刀常受車屑的刮傷，加工接觸點局部可達紅熱，經磨整後仍堪使用，此特點較高速鋼為佳。

關鍵字：Al₂O₃/NiAl 複合材、真空硬鋸、車削、後傾角

Abstract

Al₂O₃/NiAl composite was used as a cutting tool to evaluate its feasibility in some important engineering metallic materials. Single turning operation was performed on those materials, including Al, Cu, brass, cast iron, steel and stainless steel. Preliminary study shows composite with 60vol% or 40 vol% NiAl can be used in turning operation without major difficulty in composite itself. The general wear was found in operation on brass and cast iron. Feeding is more sensitive to wear than that of distance traveled. However, for tough copper, ultralow carbon steel and stainless steel, a chipped-off zone near the side cutting edge is generally seen. This is attributed to the poor back rack angle preparation as evidenced by a hindered continuous chip flow, particularly in stainless steel. "Red hot" overheating can sometimes be observed during operations, but it does no harm in composites. This specific high temperature stability feature in Al₂O₃/NiAl composites is proved in study.

Keywords: Al₂O₃/NiAl composites、Vacuum brazing、Turning、Back rack angle

二、計劃緣由與目的

鎳鋁介金屬化合物中的 NiAl 具有高熔點 (1638°C)，低密度 (5.86g/cm³) 及抗氧化性等優點^{2,3}，為一種相當具有發展潛力的高溫材料²。而 Al₂O₃ 具有高強度、高硬度、高熔點、耐磨耗、高溫抗腐蝕及化學穩定性等優點，因此可廣泛應用在結構零組件上，但其卻擁

有致命的脆性，在過去前人的研究中發現可藉由添加金屬強化相來改善其機械性質，如添加 Al⁴、Ni⁵、Ag⁶、Cu⁷、Fe⁸、Ni₃Al⁹、NiAl¹⁰ 和 Nb₃Al¹¹。其中因 NiAl 具有高熔點、高抗氧化性而尤為突出。在前人研究努力下，已可以用真空熱壓燒結方法製備出機械性質優異的 NiAl/Al₂O₃ 系統複合材料，其強度與韌性更高於混合律之預測值，尤其含 10vol%-40vol% Al₂O₃ 之此系統複合材更兼具優越之常溫抗折強度及破壞韌性¹。因此此複合材料系統在應用上極具潛力。然而在結構件之應用上，無可避免的需要用到接合技術。其中硬鋸接合為其一被廣泛使用者。本研究乃先將 NiAl/Al₂O₃ 硬鋸於中碳鋼車刀柄上，以小片複合材替代整塊複合材，藉由鋼鐵底材之襯托，使在車削進行更能承受較大的震動及應力。底材選用中碳鋼乃一般碳化鎢系車刀之常使用者，著眼在於其剛性、韌性與強度。另外，其熱膨脹係數與複合材較為接近，可改善硬鋸界面的龜裂。而選用活性硬鋸填料 (含鈦)，則可使陶瓷 (Al₂O₃) 部份潤濕，而利結合。將自製的複合材車刀車削鋁、銅、黃銅、低碳鋼、不銹鋼及鑄鐵六種不同材料，俾以觀察不同材質車刀車削不同材料的影響，及不同車削條件對車刀之影響，進而評估此複合材作為切削刀具之可行性。

三、實驗方法

3.1 NiAl/Al₂O₃ 複合材料之製備

將預量之 Al₂O₃ 粉末 (TM-DR, Taimei Chemical Co. Ltd., Tokyo Japan, 平均粒徑 0.23μm) 與預量之 NiAl (0.25at%Fe) 粉末 (Xform Inc., New York, U. S. A., 平均粒徑 10μm)，配成 100g 加以混合。以直徑 5mm 的氧化鋁磨球，純度 99.5% 的酒精作為研磨液，置於攪磨機 (attritor, Model 101-HD, Union Process Inc., U. S. A.) 內攪磨一個小時，攪磨速度為 300rpm。攪磨後的漿料以真空旋轉減壓乾燥機 (rotary evaporator, N-1, Tokyo Rikakikai Co. Ltd., Japan) 進行乾燥。乾燥後的粉末以 150mesh 的篩網進行過篩。所得的粉末預壓成圓形生胚後，再進行真空熱壓燒結。熱壓爐 (Fuji Dempa Co., High-Multi 5000, Japan) 內的真空度維持在 5·10⁻³ torr 以下，所施加壓力為 24.5Mpa，燒結溫度為 1450°C、持溫一個小時。

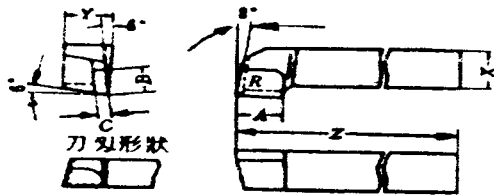
3.2 複合材料與中碳鋼車刀柄之接合實驗

將製備好的 NiAl/Al₂O₃ 複合材料表面以平面磨床加工，所使用的磨輪為 600mesh 之鑽石磨輪。再以鑽石刀切成 10mm X 6mm X 3mm 之車刀片。另外，車刀柄為中碳鋼材質，車刀形狀及大小如圖所示。將 NiAl/Al₂O₃

複合材料以鑽石膏拋光至 $1\mu\text{m}$ ，而中碳鋼車刀柄則以砂紙研磨表面將表面氧化物去除。所使用鐸料為 Ticusil®(Wesgo Inc.)，裁切成 $12\text{mm} \times 8\text{mm} \times 0.05\text{mm}$ 大小。將 $\text{NiAl}/\text{Al}_2\text{O}_3$ 複合材料、中碳鋼及 Ticusil® 浸入丙酮中以超音波清洗約 20 分鐘後吹乾，將 Ticusil® 以三明治式堆疊於 $\text{NiAl}/\text{Al}_2\text{O}_3$ 複合材料與中碳鋼中間，整個接合件置於真空硬鐸爐中以進行鐸接。接合熱處理條件為以 $10^\circ\text{C}/\text{min}$ 之升溫速率升溫到 780°C 後持溫 12 分鐘，再以 $5^\circ\text{C}/\text{min}$ 之升溫速率升溫到 860°C 持溫 15 分鐘，爾後以 $5^\circ\text{C}/\text{min}$ 之降溫速率降溫到 500°C 再爐冷。

3.3 車削性實驗

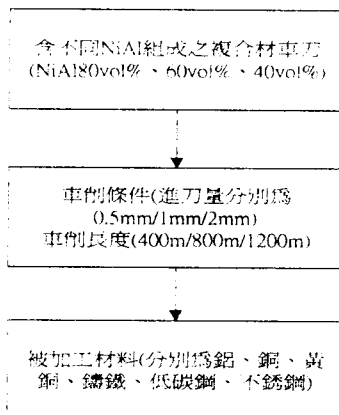
車刀之設計乃參考高速鋼端鐸車刀的形狀及尺寸(JIS B4152)，車刀柄部尺寸則參考碳化物車刀柄部尺寸。其形狀及尺寸如下圖及表一。



表一、33 型 0 號切削車刀具之各部份尺寸

刀片部尺寸(mm)				刀柄部尺寸(mm)		
A	B	C	R	寬 X	高 Y	長 Z
10	6	3	0.3	10	10	80

將製作好之複合材車刀再做如下之實驗



上述 $\text{NiAl}/\text{Al}_2\text{O}_3$ 複合材之機械性質及加工件之硬度值則分別示如表二及表三。

四、結果與討論

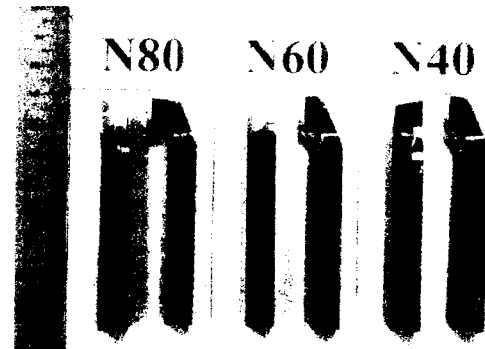
表二、複合材車刀之機械性質比較

車刀片代號	N80	N60	N40
車刀片材料	NiAl 80vol%	NiAl 60vol%	NiAl 40vol%
硬度(Hv)	~550	~850	~950
強度(MPa)	~925	~750	~560
韌性($\text{MPa}\cdot\text{m}^{1/2}$)	~29	~22	~17
與中碳鋼接合之剪強度(MPa)	227	128	126

表三、加工件之硬度值

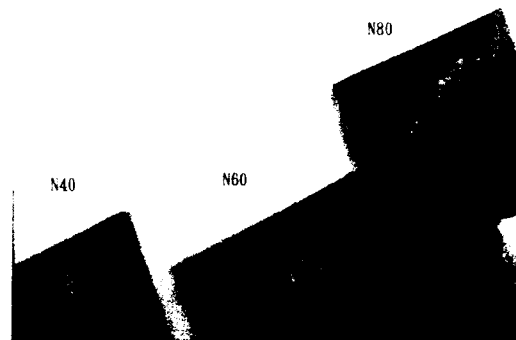
材料系列	非鐵系			鐵系		
材料名稱	鋁	銅	黃銅	鑄鐵	低碳鋼	不鏽鋼
規隔	1100	>99%	70/30	FC-30	1008	304
硬度(BHN)	83	70	100	122	126	195

圖一為自製車刀之形狀及尺寸，車刀部乃參考高速鋼端鐸車刀的形狀及尺寸(JIS B4152)，車刀柄部尺寸則參考碳化物車刀柄部尺寸。



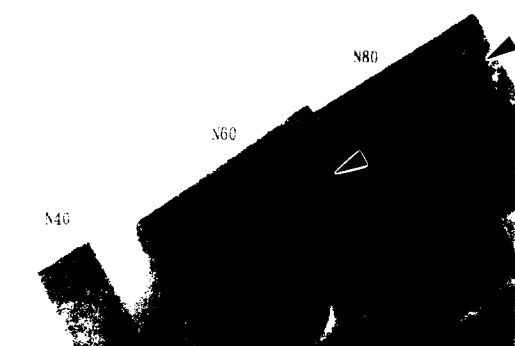
圖一、自製車刀之形狀及尺寸

圖二為以 N80、N60、N40 車刀車削鋁之刀腹磨損情形，其切削條件為工件每分鐘轉速 675rpm、進給 $0.129\text{mm}/\text{轉}$ 、切削深度 2mm 、切削長度 400mm 。由圖可以看到其主切刀口部分其刀面並無任何受損，而受加工時溫度漸漸提高的影響，在切削完成後可看到其刀腹部位白色的熱流傳播情形，顯示此複合材車刀之熱傳良好，可將刀口之熱很快傳至車刀柄部。



圖二、不同材質車刀車削鋁之刀腹磨損情形

圖三為以 N80、N60、N40 車刀車削銅之刀腹磨損情形，其切削條件為工件每分鐘轉速 675rpm、進給 $0.129\text{mm}/\text{轉}$ 、切削深度 2mm 、切削長度 400mm ，同樣的其主切刀口部分其刀面亦無任何受損，但由於車削環境是在乾式環境下進行，並沒有加切削劑，且由於車刀之設計上之傾角設計不甚理想，以致切削流速緩慢及流向不當，造成切削軸向分力大且切削熱多集中於刀口，散熱面積小，致使刀口附近區域(如箭頭所示)碎離，其碎離之形狀與車屑之捲曲方向相契合，應為車屑對車刀刀口在高熱高壓環境下破壞形成。圖四為車削後被加工件之外貌，可以看到銅棒因為車刀之傾角不當加上工件長度較大(300cm)，使熱量累積在銅棒及車刀上而使銅棒中間地帶之表面氧化而變成藍紫色。

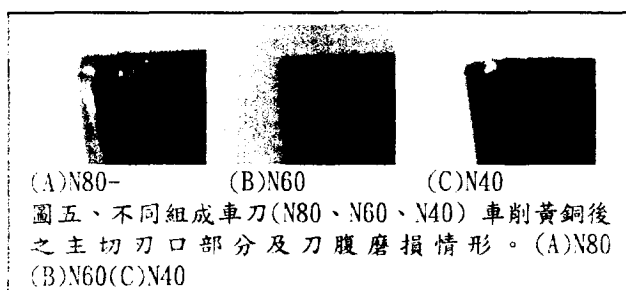


圖三、不同組成車刀車削銅之刀腹磨損情形



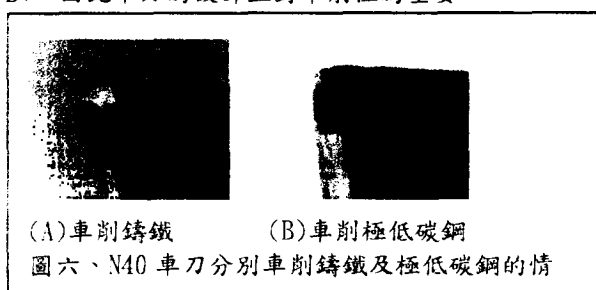
圖四、車削過熱造成銅棒表面氧化情形

圖五為三種不同組成車刀(N80、N60、N40)以工件每分鐘轉速 675rpm、進給 0.129mm/轉、切削深度 2mm、切削長度 400mm 之切削條件下，車削黃銅後之主切刀口部分及刀腹磨損情形。可以看到其刀腹跟主刀口並無磨損，但其切削端有黃銅沾在複合材上。因為黃銅之車屑為不連續之車屑，因此並無像車削銅棒時之過熱情形發生而造成刀口之崩裂。



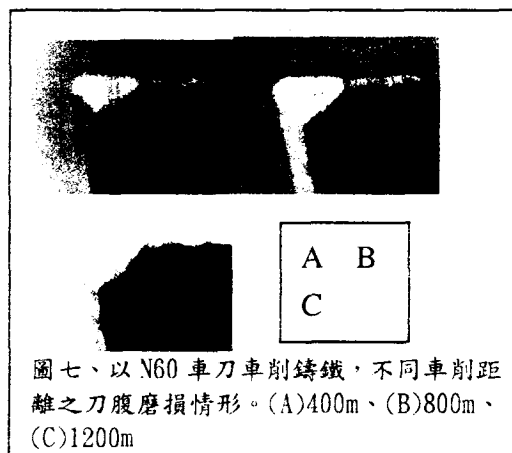
圖五、不同組成車刀(N80、N60、N40)車削黃銅後之主切刀口部分及刀腹磨損情形。(A)N80 (B)N60 (C)N40

圖六為以 N40 車刀分別車削鑄鐵及極低碳鋼的情形。其切削條件為工件每分鐘轉速 675rpm、進給 0.129mm/轉、切削深度 2mm、切削長度 400mm。其刀口部位之破損情形不同。雖然此兩種被加工材料硬度相近(如表三)，但因為鑄鐵車屑為不連續車屑，切削時易排除；刀口產生磨損(A)；而極低碳鋼之車屑為連續車屑，加上後傾角太小，車屑排除不易因此也發生跟車削銅棒時一樣的過熱情形而造成刀面跟刀口部位崩裂的情形(B)。因此車刀的設計上對車削極為重要。



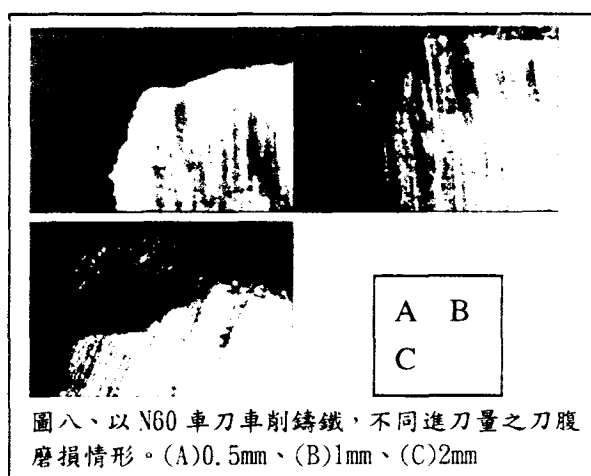
圖六、N40 車刀分別車削鑄鐵及極低碳鋼的情形

圖七為以 N60 車刀車削鑄鐵，不同車削距離之刀腹磨損情形。其切削條件為工件每分鐘轉速 675rpm、進給 0.129mm/轉、切削深度 2mm、切削長度分別為 400mm、800mm、1200mm。當車削距離 400mm 時(A)，刀口部份已有磨損，當車削距離 800mm 時(B)，與前者比較無太大改變，車削距離 1200mm 時(C)，與前兩者比較亦無太大改變。因此刀腹之磨損乃發生在車削初期，亦與車刀設計之傾角不當有關。



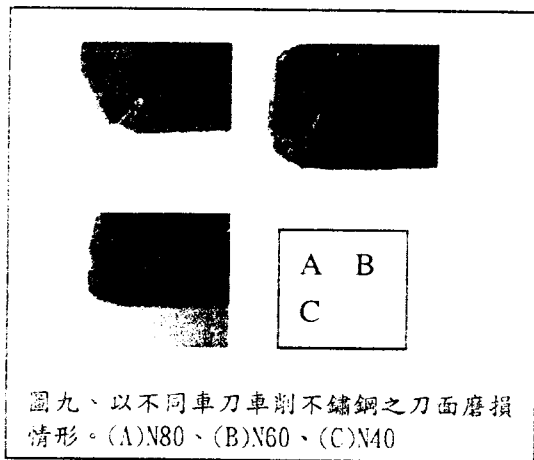
圖七、以 N60 車刀車削鑄鐵，不同車削距離之刀腹磨損情形。(A)400mm、(B)800mm、(C)1200mm

圖八為以 N60 車刀車削鑄鐵，不同進刀量之刀腹磨損情形。其切削條件為工件每分鐘轉速 675rpm、進給 0.129mm/轉、切削長度 1000mm，切削深度分別為 0.5mm、1mm、2mm。其刀腹磨損情形隨進刀量之增加而有所增加。且進刀量變數對刀具磨損的影響大於車削距離的影響。因此當車刀的後傾角太小，工件與刀口的磨差力很大，在車削之初期就容易對車刀刀口產生破壞，而當有一個較大角度形成，車屑容易排開時，則車刀刀口便無顯著的破壞，而可以繼續切削工件。



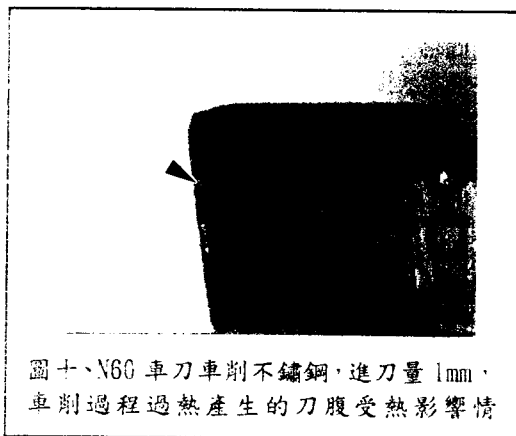
圖八、以 N60 車刀車削鑄鐵，不同進刀量之刀腹磨損情形。(A)0.5mm、(B)1mm、(C)2mm

圖九為以 N80、N60、N40 車刀車削不鏽鋼之刀面磨損情形。其切削條件為工件每分鐘轉速 330rpm、進給 0.103mm/轉、切削長度 500mm、進刀量 0.5mm。因為不鏽鋼容易加工硬化，當乾式車削在進行時也同時加工硬化不鏽鋼，因此硬度漸高的不鏽鋼屑因刀具傾角小、車削流動不易而在車削過程刮損了車刀面。由圖可看到隨著 NiAl 含量增加，刀具硬度減少，而刀面之刮槽越深。



圖九、以不同車刀車削不鏽鋼之刀面磨損情形。(A)N80、(B)N60、(C)N40

圖十為以 N60 車刀車削不鏽鋼。其切削條件為工件每分鐘轉速 330rpm、進給 0.103mm/轉、切削長度 500mm、進刀量 1mm。其車削過程刀刀過熱產生的刀腹受熱影響情形清楚可見。因為切削時的傾角太小，致使刀口與車屑之磨差力太大，加上連續式的車削排除不易，使得切削的熱量不易排除而累積於刀口端，其高溫甚至使得加工件產生紅熱 (~800°C)。但由圖十可以看到此複合材車刀之傳熱性質良好，將熱傳至車刀柄部。車刀柄上由深藍變紅的顏色分佈也清楚的反映了熱傳的情形。且複材與車刀柄之接合良好，並沒有因車削時的過熱情形而使車刀片脫落。然而一般高速鋼系的車刀，一旦發生車刀刀口過熱的情形，此刀具也就不能再使用，但此複合材車刀只要再經研磨車削角度後又能再使用。因此精確設計好各個車削傾角，可將車屑及切削熱有效排除，相信此複材車刀對不鏽鋼亦能進行有效的車削。



圖十、N60 車刀車削不鏽鋼，進刀量 1mm，車削過程過熱產生的刀腹受熱影響情形

五、結論

1. 以活性硬鋅填料(Ticasil®)能將 NiAl/Al₂O₃ 複合材車刀與中碳鋼車刀柄於真空中硬鋅成功，且其接合性良好，在嚴苛的乾式車削環境中亦能承受其切削力而不脫落。
2. N80、N60、N40 在本實驗中，對非鐵系金屬(鋁、銅、黃銅)皆能有效的車削，在進刀量 2mm、切削距離 400mm 之車削條件下，主切刀刀口及刀面並無損傷。唯其車刀之車削角度不良，對連續性之車屑排除不易，而使車削熱能無適當排遣，致使刀

口附近崩離而影響其後之車削。

3. 以 N60 對鑄鐵之車削，其進刀量對車刀受損的影響大於車削距離對於車刀受損之影響。即進刀量大時，車刀易在車削初期磨削成適當排屑的角度，而之後之車削過程則對刀腹之磨損極小。
4. 以 N40 對低碳鐵之車削，因為其車屑為連續性車屑，加上車刀車削角度不良，因此其刀口破壞型態成崩裂型態與車削鑄鐵不連續車屑之刀口磨損型態相異。
5. 以 N60、N40 車削不鏽鋼，若進刀量太大會因車削傾角太小而使工件過熱而無法再繼續車削。但經重磨車削角度後又能再行車削，是一個優於高速鋼車刀具之優點。
6. 此複材車刀之熱傳良好，但需再改良其車刀形狀與車削角度之設計，俾能有效的排除工件上的連續車屑。

六、參考文獻

1. Wei-Hsing Tuan and Yu-Pan Pai, "Mechanical properties of Al₂O₃-NiAl composites," J. Am. Ceram. Soc., 82(6) 1624-26(1999)
2. Ram Darolia, "NiAl alloy for high-temperature structure applications," JOM, March, 44-49, 1991
3. J. D. Destefani, "Advance in intermetallics", Adv. Mater. Proc., No.2, 37-41, 1989
4. M.K. Aghajanian, N.H. MacMillan, C.R. Kennedy, S.J. Luszcz, and R. Roy, "Properties and Microstructures of Lanxide Al₂O₃-NiAl Ceramic composite Materials," Mater. Sci., 24(2) 658-70(1989)
5. W.H. Tuan and R.J. Brook, "The Toughening of Alumina with Nickel Inclusions," J. Eur. Ceram. Soc., 6(1) 31-37(1990)
6. W.B. Chou and W.H. Tuan, "Toughening and Strengthening with Silver Inclusions," J. Eur. Ceram. Soc., 15(4) 291-95(1995)
7. S.T. Oh, T. Sekino, and K. Nihara, "Fabrication and Mechanical Properties of 5vol% Copper Dispersed Alumina Nanocomposite," J. Eur. Ceram. Soc., 18(1) 31-37(1998)
8. P.A. Trusty and J.A. Yeomans, "The Toughening of Alumina with Iron: Effects of Iron Distribution on Fracture Toughness," J. Eur. Ceram. Soc., 17(4) 495-504(1997)
9. J. Rodel, H. Prielipp, N. Claussen, M. Stermnitzke, K.B. Alexander, P.F. Becher, and J.H. Schneibel, "Ni₃Al/Al₂O₃ composite with Interpenetrating Networks," Scr. Metall. Mater., 33(5) 843-48(1995)
10. W.B. Chou, W.H. Tuan, and S.T. Chang, "Preparation of NiAl-Toughened Al₂O₃ by Hot-Pressing," Br. Ceram. Trans., 95(2) 71-74(1996)
11. T. Klassen, R. Gunther, B. Dickau, F. Gartner, A. Bartels, R. Bormann, and H. Mecking, "Processing and properties of Intermetallic/Ceramic Composites with Interpenetrating Microstructure," J. Am. Ceram. Soc., 81(9) 2504-506(1998)
12. 洪良德, "切削刀具學", 台北市, 高立, 民 78(1989)