

<研究論文>

## TiC-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 被覆超硬工具의 最適被覆두께에 關한 研究



A Study on the Optimum coating thickness of  
TiC-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> coated cemented carbide tool

金 政 斗\*  
Kim, Jeong-Du

### Abstract

The purpose of this paper is to investigate on the optimum coating thickness layer of TiC-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> coated cemented carbide tool. Chemical Vapor Deposition (CVD) of a thick film of TiC-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> on a cemented carbide produces an intermediate layer, 1.5 $\mu$ m, 4.5 $\mu$ m, 7.5 $\mu$ m, 10.5 $\mu$ m, 4 kind of TiC between the substrate and the 1.5 $\mu$ m constant thick Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> coating.

Experiments were carried out with the test relationship between coating thickness and shear angle, surface roughness, cutting force, microphotograph of crater wear, flank wear, tool life. From the experimental results, it was found that the optimum coating thickness of TiC-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> is 6 $\mu$ m. Although the coating thickness layer 9 $\mu$ m, 12 $\mu$ m have a much longer tool wear than an 3 $\mu$ m, 6 $\mu$ m coating tool in cutting condition feed 0.05mm/rev, and the condition of feed 0.2mm/rev, 0.3mm/rev has upon in the shot time phenomenon of chipping.

### 1. 序 論

근년에 와서 數値制御工作機械의 출현과 함께 生産은 高速化, 自動化 경향으로 발전되고 있다. 특히 無人化 切削은 장시간 切削加工에 견딜 수 있는 양질의 切削工具가 요청되며, 機械加工中の 工具磨減, 工具破損에 대한 정확한 진단 등 加工中の 工具損耗에 대한 정확한 평가가 요구된다. 최근에는 切削工具의 改善을 위한 꾸준한 노력이 진행중에 있으며 그의 하나로서

一般超硬 母材에 TiC-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>를 被覆하여 工具壽命을 개선하고 있다. 被覆工具에 대한 현재까지의 연구는 高速度鋼 또는 超硬工具에 CVD法과 PVD法을 이용한 제작방법<sup>1)</sup>이 있으며 그의 재질평가로서는 物理的特性<sup>2)3)</sup>을 고찰하고 被覆母材와 被覆部分의 境界面에 대한 機械的性質<sup>4)</sup>등을 연구하고 있다. Ljungqvist<sup>5)</sup>는 그의 연구에서 TiC를 被覆시킨 超硬은 Non-Coating 超硬에 비하여 耐磨減性이 크며, 構成刃先 방지에 효과가 있다고 보고되고 있다. Shintlemeister<sup>6)</sup>는 CVD法에 의한 被覆層두께는 雰圍氣溫度 및 化

\* 機械技術士(機械工作 및 工作機械), 工博, 韓國科學技術大學 生産機械工學 助教授.

學反應時間에 따라서 결정되며, 항절력(Transverse Rupture Strength)은 被覆層이 두꺼울 수록 작아진다고 보고 되고 있다.

高橋<sup>7)</sup> 등은 被覆工具의 抗折力과 硬度試驗관계는 반비례 현상을 나타내고 있음을 발표한 바 있다. 그러나 이와같은 연구 결과는 피복두께에 대한 物理的現象 및 非被覆工具와 被覆工具의 切削性 등을 비교 검토한 것이다.

따라서 본고에서는 TiC-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 被覆超硬을 被覆두께별로 제작하였고, 剪斷角, 表面거칠기, 切削抵抗, 工具磨滅 및 工具壽命 등의 切削特性을 비교 분석하였다.

## 2. 被覆試片製作 및 實驗方法

### 2-1. 被覆試片製作

試片의 被覆層 두께는 Shintlemeister<sup>6)</sup>의 被覆層두께와 抗절력시험 결과를 토대로 CVD 法에 의하여 超硬母材 P20에 TiC-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>의 被覆層을 각각 3 $\mu\text{m}$  $\pm$ 0.5, 6 $\mu\text{m}$  $\pm$ 0.5, 9 $\mu\text{m}$  $\pm$ 0.5, 12 $\mu\text{m}$  $\pm$ 0.5의 4가지 두께로 제작하였다. 다만 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>의 두께는 1.5 $\mu\text{m}$ 로 일정하게 하였다. Fig.1은 본 實

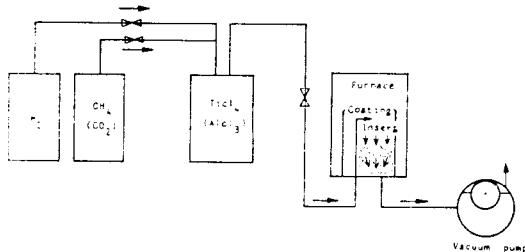
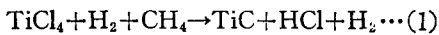
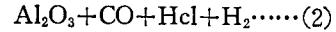
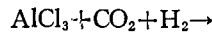


Fig. 1. Schematic diagram of coating apparatus

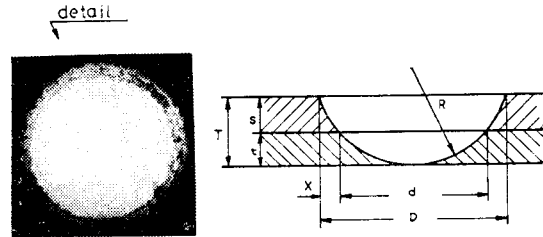
驗의 試片製作에 사용된 장치의 계통도로서 TiCl<sub>4</sub>를 水素 및 炭化水素가스 雰圍氣에서 1000~1200°C로 加熱시켜 다음과 같이 反應하였다.



또한 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 被覆層의 反應은 다음과 같다.



被覆層의 두께는 反應時間에 따라서 1.5 $\mu\text{m}$ 는 2.5시간, 4.5 $\mu\text{m}$ 는 4시간, 7.5 $\mu\text{m}$ 는 6시간, 10.5 $\mu\text{m}$ 는 8시간으로 실시하였다. Fig.2는 제



D ; outer calotte Diameter      d ; Inner Calotte Diameter  
T ; generator Depth              R ; Small Radius  
S ; Coated layer (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)        t ; Coated layer (TiC)

Fig. 2. Measurement of Coated thickr

작완료된 試片의 calotte 면으로서 被覆層 두께를 測定하기 위한 방법으로서 Diamond 粉末을 研磨劑로 사용하였으며, Microscope로 측정하였다. 본 실험에 사용된 被覆材料 TiC, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 및 超硬母材의 物理的 性質은 Table 1과 같다.

Table 1. Mechanical Properties of TiC, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> and WC-Co

Specimen	Hardness (Vickers, Hv)	Coefficient of thermal expansion (X 10 <sup>-6</sup> /°C)
TiC	3200	7.4
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3000	6.7
Wc-Co	1850	5.2

### 2-2. 實驗方法

本 實驗의 切削性은 CNC 旋盤을 사용 無段變速 및 移送切削狀態에서, 試驗片 材料 SCM 2:種을 사용하였고 그의 化學成分과 機械的 性質은 Table 2와 같다.

Table 2. Chemical Composition and Mechanical Properties of SCM 2

Chemical Composition								Mechanical Properties			
C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Ni	Tensile Strength (kg/mm <sup>2</sup> )	Yield Point (kg/mm <sup>2</sup> )	Percentage of Elongation(%)	Hardness (Brinell, HB)
0.30	0.20	0.48	0.015	0.015	0.91	0.20	0.12	60.6	36.7	28.2	156

切削抵抗은 工具動力計(AST type)에 의하여 測定하였으며, 被削材의 表面粗度 및 Crater 磨滅狀態는 휴대용 表面粗度計 hommel tesler P5-Z 를 사용하였다. Flank 磨滅의 幅은 工具顯微鏡에 의하여, 工具磨滅 및 칩핑現象測定을 위하여 加工싸이클마다 program hold 를 사용하였다. Fig. 3 은 實驗에 使用된 기기의 흐름도를 나타낸 것이다.

工具壽命式은 Taylor 方式을 適用하였고 最適被覆두께를 考察하기 위하여 切削速度와 移送速度를 變化시켰다. 切削速度 範圍 V는 60m/min ~350m/min 를, 移送速度 範圍 f는 0.05mm/rev~0.3mm/rev 을 채택하였다. Tool holder 는 ISO 規格의 홀더로 T.A Insert 를 사용하였으며, 工具設置角은 3, 6, 6, 6, 15, 15, 0.8 로 하였다. 또한 신속한 工具壽命 結果를 얻기 위하여 乾式을 채택하였다.

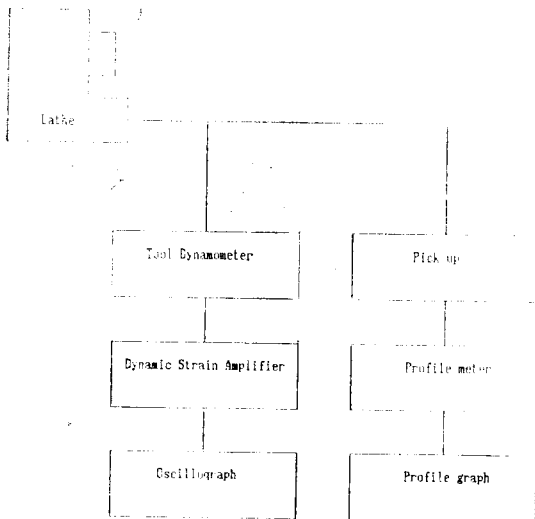
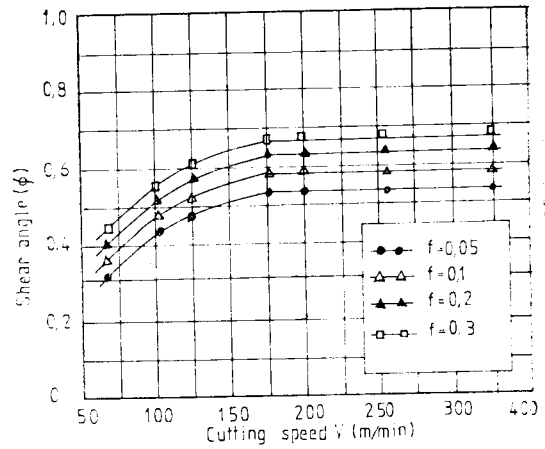


Fig. 3. Flow Schematic of Testing Apparatus

### 3. 實驗結果 및 考察

#### 3-1. 被覆두께와 剪斷角과의 關係

Fig. 4 는 切削깊이를 2.0mm 로 一定하게 하고 移送와 切削速度를 各各 變化시켰을 때의 剪斷角  $\phi$  를 나타낸 것이다. 測定結果는 切削時間 10 秒 以內에서 칩을 채취하여 測定하였다. 本結果에서 剪斷角은 切削速度가 커짐에 따라서



depth of cut : 2mm Cutting material : SCM 2  
Cutting tool : TiC-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> - 6 $\mu$ m (3, 6, 6, 6, 15, 15, 0.8)

Fig. 4. Relationship between cutting speed and shear angle

增加趨勢를 보이니, 切削速度가 200m/min 以上에서는 剪斷角의 變化가 없음을 나타내고 있다.

Fig. 5 는 TiC-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 被覆層두께에 대한 剪斷角變化를 考察한 것이다. 切削速度는 Fig. 4 에서 얻어진 剪斷角 安定領域인 切削速度 200m/min 를 채용하여 實驗한 結果이다.

剪斷角은 切削時間 4 分內에서는 各 被覆層두께에 따른 變化를 發見할 수 없으며 그 以後에서는 被覆層두께에 따라 差等的으로 剪斷角의 變化가 나타나고 있다. 剪斷角은 被覆層두께 3 $\mu$ m 에서 가장 크게 形成되었으며 그 크기는 6 $\mu$ m, 9 $\mu$ m, 12 $\mu$ m 의 순서로 減少하고 있다.

여기에서 A, B, C, D 點은 칩핑現象이 나타난

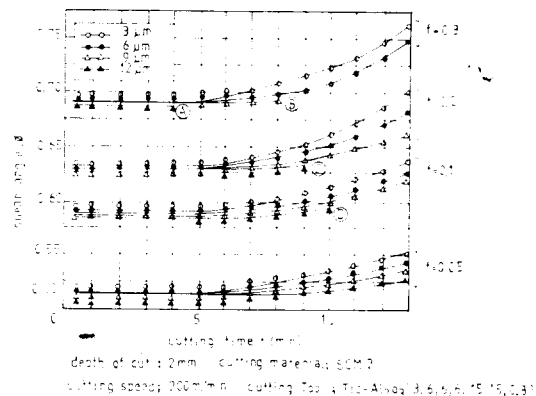


Fig. 5. Relationship between cutting time and shear angle

부분이다. 이는 被覆部の Crater 磨滅이 急速히 進行됨에 따라 chip은 curl 形狀을 이루어 上面 傾斜角이 커지게 되고 chip의 두께는 얇아져 결국 剪斷角이 增加하는 것으로 생각된다.

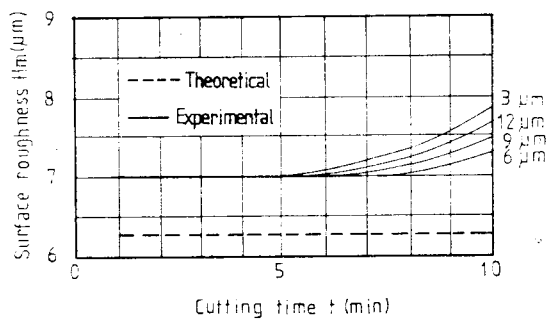
### 3-2. 被覆層두께와 表面粗度, 切削抵抗과의 關係

本節에서는 被覆層두께가 表面粗度に 미치는 影響을 觀察하기 위하여 TiC-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 被覆의 各 두께별로 切削時間 經過에 따라 表面粗度を 測定하였다. Fig. 6은 切削速度 200m/min, 移送速度 0.2mm/rev 에서의 被覆두께에 따라 나타난 表面粗度 結果이다.

本實驗은 最大높이 거칠기로서 觸針은 다이아몬드, 測定壓力은 1g 이하, 測定速度는 5mm/s, cut off 값은 0.8mm 에서의 條件이다.

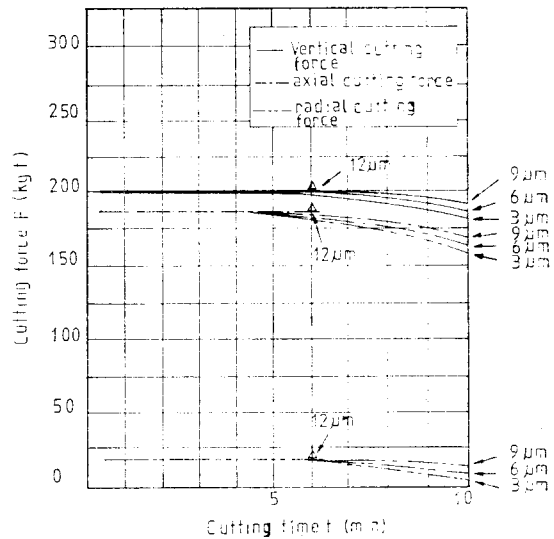
여기에서 切削時間 5分以內에서는 表面粗度 값의 變化가 없으나 그 以上에서는 漸次的으로 被覆두께에 대한 影響이 있음을 알 수 있다. 被覆層두께 3 $\mu$ m은 切削時間 5分以後에서 餘타 두께에 비하여 磨滅이 急速히 進行되어 있고, 被覆層두께 12 $\mu$ m에서는 微細칩핑現象으로 인한 表面粗度の 惡化로 判단된다.

被覆層두께 6 $\mu$ m에서 表面粗도가 가장 양호한 것은 磨滅과 칩핑에 대하여 安定된 狀態가 유지되기 때문으로 判단된다. 點線은 工具刃先의 幾何學的 形狀에 따른 理論的 表面粗도로서



depth of cut ; 2mm cutting material ; SCM2  
feed ; 0.2mm/rev cutting speed ; 200m/min  
cutting tool ; TiC-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (3,6,6,6,15,15,0.8)

Fig. 6. The relation of cutting time and surface roughness by coating thickness



feed ; 0.2mm/rev depth of cut ; 2mm  
cutting speed ; 200m/min cutting material ; SCM2  
cutting tool ; TiC-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (3,6,6,6,15,15,0.8)

Fig. 7. The relation of cutting time and cutting force

實驗값과 比較檢討한 것이다. Fig. 7은 被覆層의 두께와 切削抵抗과의 關係를 나타낸 것이다. 切削時間 5分以內에서는 切削抵抗값은 거의 變化가 없으나 그 以後에서는 切削抵抗이 減少하는 傾向을 나타내고 있다. 이것은 Crater 磨滅로 인한 上面傾斜角의 增加로 生起되며 또한 先端磨滅에 의한 接觸摩擦이 減少하는 것으로 생각된다.

被覆層두께 3 $\mu$ m에서 Crater 磨滅 및 先端磨滅이 잘 발달되며 被覆層두께 6 $\mu$ m, 9 $\mu$ m의 순서로 磨滅現象과 함께 切削抵抗의 減少현상을 나타내고 있다. 被覆層두께 12 $\mu$ m에서는 切削時間 6分경에서 微細칩핑의 初期段階가 나타나는 것을 알 수 있다. Fig. 8은 被覆層두께에 대한 工具面의 Crater 磨滅을 검토한 것이다. 切削時間 3分頃의 測定結果로서 被覆層두께 3 $\mu$ m에서는 Chip 流動에 의한 Crater 面 Curl 部分에 따른 被覆部の 磨滅現象이 나타나고 있다.

두께 6 $\mu$ m과 9 $\mu$ m의 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 被覆層은 磨滅되었으나 TiC 被覆層은 殘存하고 있음을 나타내고 있다. 반면, 被覆層두께 12 $\mu$ m에서는 磨滅보다

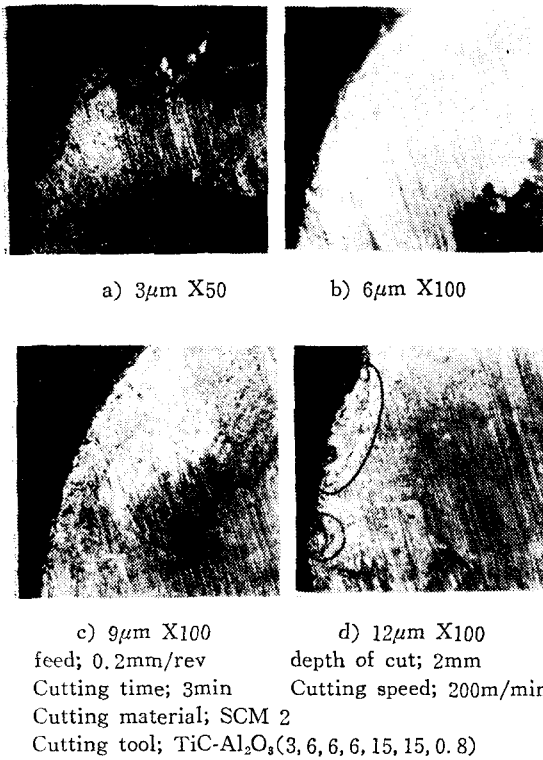


Fig. 8. Microphotograph of Crater Wear Surface

는 微細칩핑現象의 初期段階임을 證明하고 있다.

### 3-3. 被覆層두께와 工具磨減, 工具壽命과의 關係

Fig. 9는 被覆層두께에 대한 工具의 磨減進行을 切削時間에 대하여 나타낸 것이다. 移送速度가 0.05mm/rev인 條件에서는 切削時間 2.5分경까지는 일정한 磨減進行을 유지하며, 그 以後에서는 被覆層두께에 따라 工具磨減進行의 차이를 나타내고 있다. 磨減進行 速度는 被覆層두께가 3 $\mu$ m일때가 가장 빠르고, 6 $\mu$ m, 9 $\mu$ m, 12 $\mu$ m의 순서로 진행된다.

移送速度가 0.05/rev 條件에서의 被覆工具의 磨減進行은 被覆層이 두꺼울 수록 안정된 상태를 나타내고 있다. 移送速度 0.1mm/rev 조건에서는 切削時間 2分경까지는 被覆層두께에 관계없이 동일한 磨減값을 유지하고 있으나, 그 이후에는 被覆層두께에 따라 磨減進行速度가 다르

기 시작하여, 被覆層두께 12 $\mu$ m의 상태에서는 切削時間 5分경에 칩핑現象이 나타나고 있다. 移送速度 0.2mm/rev 조건에서는 切削時間 1.2分경까지 被覆層두께와 관계없이 동일한 磨減進行을 유지하고 있다.

本 條件에서는 被覆層두께 3 $\mu$ m에서 급속한 磨減이 진행되며, 그 순서는 3 $\mu$ m, 6 $\mu$ m, 9 $\mu$ m, 12 $\mu$ m의 순서로 나타나고 있다.

칩핑현상은 切削時間 3分경에 被覆層두께 12 $\mu$ m에서 나타나고 있다. 移送速度 0.3mm/rev에서는 切削時間 初期단계에서 被覆層두께에 따른 工具磨減進行速度에 현저한 차이를 볼 수 있다.

被覆層두께 3 $\mu$ m과 6 $\mu$ m의 경우 급격한 磨減成長을 하여 4.5分 切削時의 Crater 磨減( $K_T$ ) 깊이는 0.052mm와 0.045mm 값을 나타내고 있다.

한편 Flank 磨減( $V_B$ )幅은 0.62mm와 0.55mm 값을 나타내고 있다. 그러나 被覆層두께 9 $\mu$ m는 切削時間 3.5分에서, 12 $\mu$ m는 切削時間 2分에서 칩핑현상이 각각 나타나고 있다.

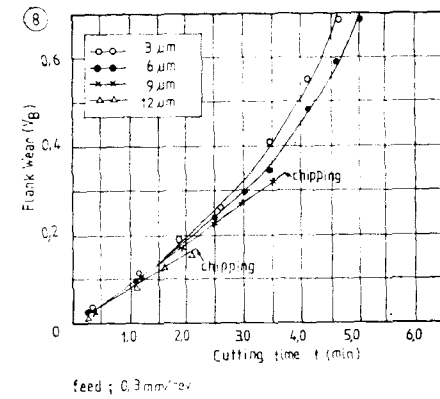
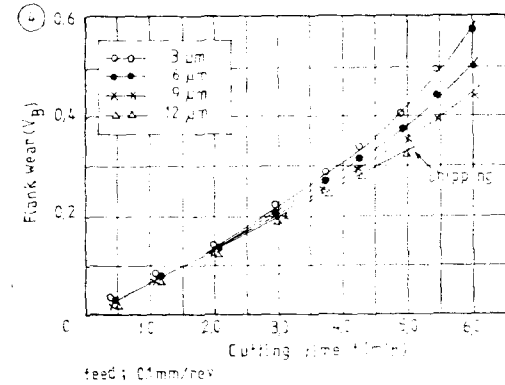
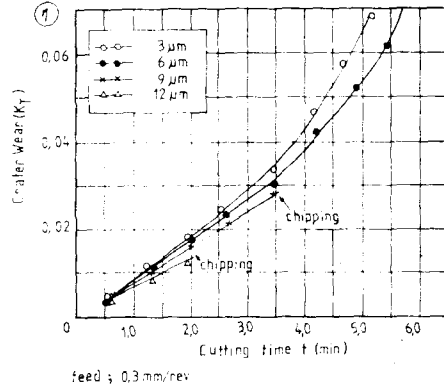
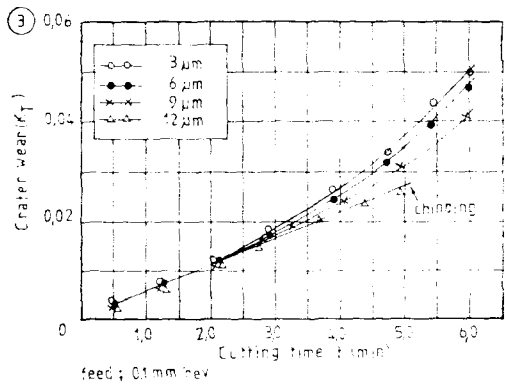
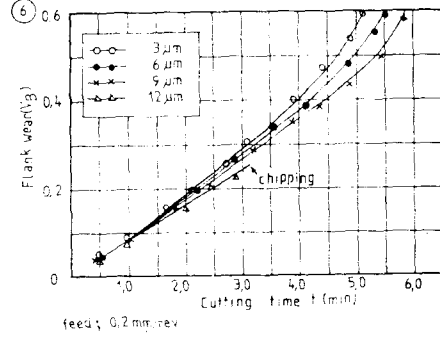
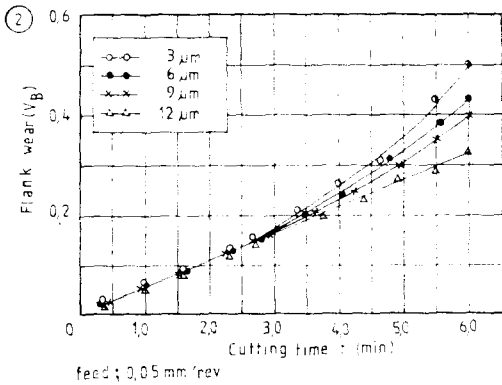
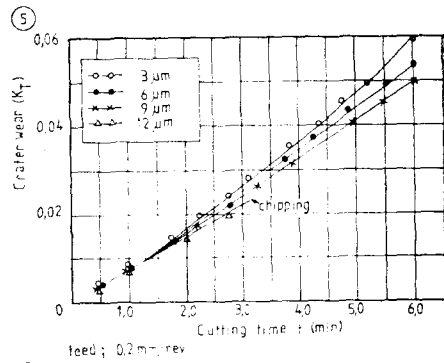
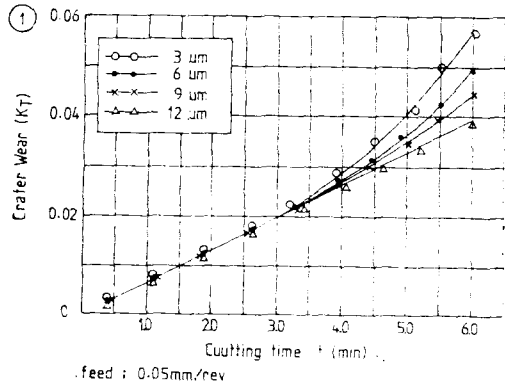
이상의 종합적인 결과로 볼때 낮은 移送速度 條件 0.05mm/rev과 0.1mm/rev에서는 被覆層이 두꺼운 경우에 비교적 안정된 상태를 보이며, 그 이상의 移送速度 條件 즉 移送速度 0.2mm/rev과 0.3mm/rev 條件에서는 被覆層두께가 얇은 경우에 안정된 상태를 유지하고 있다.

Fig. 10은 이상의 實驗結果에서 얻어진 切削時間과 工具磨減關係를  $K_T$ 는 0.06mm,  $V_B$ 는 0.5mm를 基準으로 被覆層의 두께별 工具壽命을 나타낸 것이다.

이상의 結果로 볼때 工具壽命에 안정을 주는 最適被覆層두께는 6 $\mu$ m으로 最適 工具壽命과 지속적인 工具壽命의 豫測을 기대할 수 있을 것으로 생각된다.

## 4. 結 論

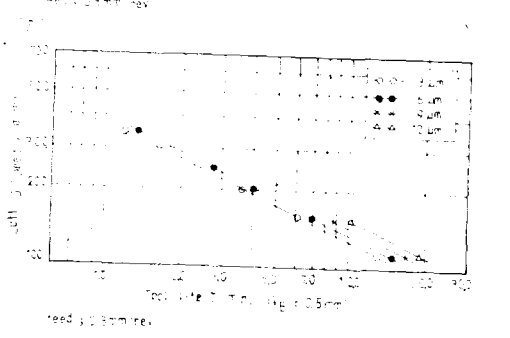
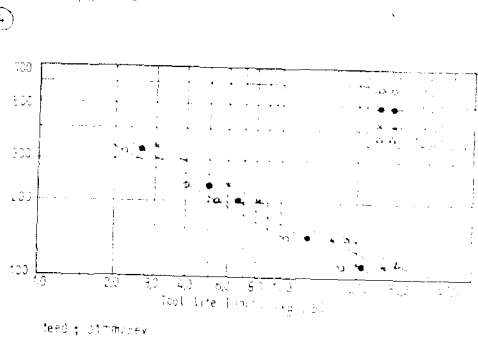
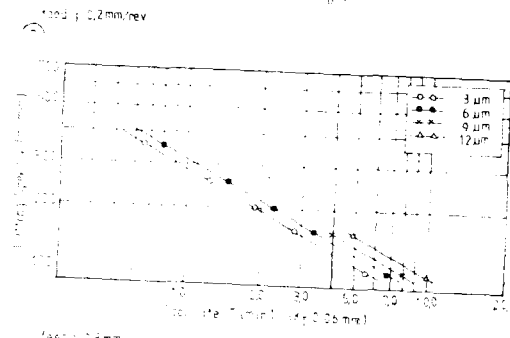
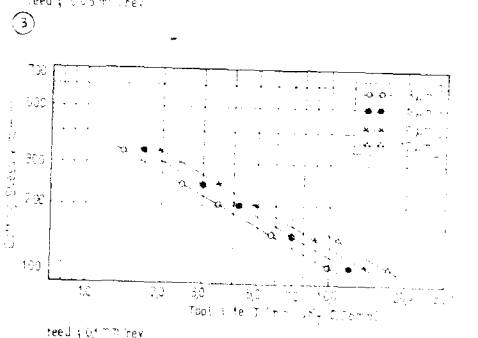
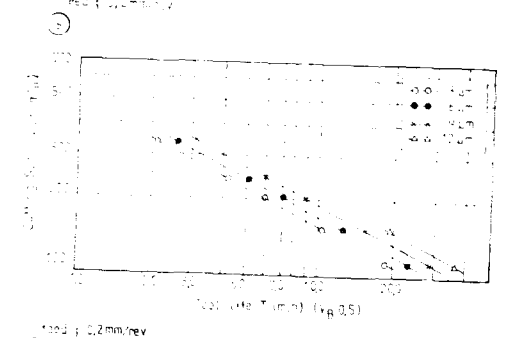
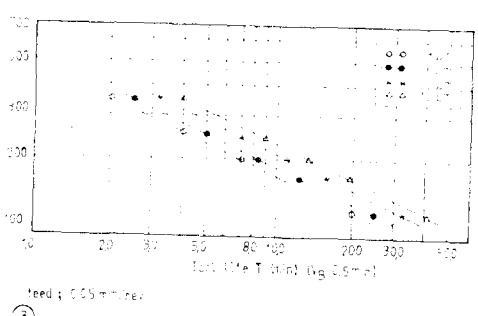
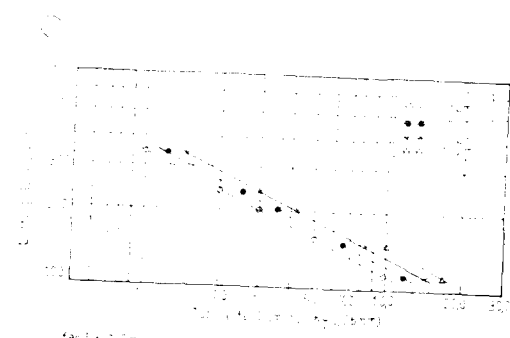
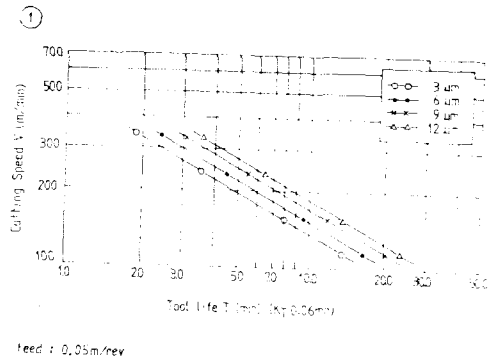
最適被覆層 두께를 얻기 위하여, 超硬母材에 TiC-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>의 被覆層을 형성, 두께 3 $\mu$ m, 6 $\mu$ m, 9 $\mu$ m, 12 $\mu$ m의 4종류로 製作하고 切削速度와 移送速度를 변화시켜 工具壽命을 實驗한바 얻어



Cutting speed;  $200\text{m/min}$   
 Cutting tool;  $\text{TiC-Al}_2\text{O}_3(3, 6, 6, 6, 15, 15, 0.8)$

Cutting material; SCM 2  
 depth of cut;  $2\text{mm}$

Fig. 9. Progress of wear



depth of cut; 2mm  
Cutting tool; TiC-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>(3, 6, 6, 6, 15, 15, 0. 8)

Cutting material; SCM 2

Fig. 10. The Relation of Coating thickness and Tool life

진 결론은 다음과 같다.

1) 剪斷角은 被覆層이 얇을 수록, 그리고 切削時間이 경과할 수록 增加한다.

2) 表面粗度は 工具의 被覆層두께에 따라서 일정한 切削時間까지는 變化가 없으나, 그 以後에서는 被覆層두께에 따라 表面粗도가 달라진다. 안정된 表面粗도는  $6\mu\text{m}$ ,  $9\mu\text{m}$ 의 순서이고 被覆層두께  $3\mu\text{m}$ 는 磨滅에 의하여,  $12\mu\text{m}$ 는 被覆層의 칩핑에 의하여 각각 영향을 받는다.

3) 切削抵抗은 被覆層두께가 얇을 수록 工具磨滅이 잘 발달하게 되고 이 영향으로 切削抵抗의 減少를 나타내고 있다.

4) 被覆層의 磨滅進行은 칩핑현상이 발생하지 않는한 被覆層이 두꺼울 수록 서서히 進行하며, 본 實驗條件에서의 最適被覆層은  $6^{\pm 0.5}\mu\text{m}$  内外이다.

#### 後 記

本 研究는 大韓重石(株)中央研究所의 協調에 의하여 이루어졌으며, 同 研究所의 전철규 박사(現, 美國 General Electric Co. Ltd)에게 感謝 드리는 바이다.

#### 參 考 文 獻

1. John R. Peterson, partial pressure of  $\text{TiCl}_4$  in CVD of  $\text{TiN}$ , The American Vacuum Society, Vol. 11 No. 4 pp. 715~718, 1974.
2. G.V. Samsonov, Formation of Titanium-Carbide-Base Composite Coatings, Institute of Materials Science, Academy of Sciences of the Ukrainian SSR. No. 7 (163) pp. 540~543, 1976.
3. William D. Sproul and Marc H. Richman, Effect of the eta layer on  $\text{TiC}$ -Coated, Cemented-Carbide tool life, The American Vacuum Society, Vol. 12, No. 4, pp. 842~844, 1975.
4. William Ruppert, Interlayers Between CVD coatings and Base Materials, Stahlwerk Südwestfalen AG, pp. 340~351, 1975.
5. Rune Ljungqvist, Development of Titanium-Carbide Coated Cemented Carbide Inserts, Seco-Division Fagersta, pp. 383~395, 1973.
6. W. Schintlmeister, O. Pacher, Structure and Strength Effects in CVD Titanium Carbide and Titanium Carbide and Titanium Nitride Coatings, pp. 523~539, 1976.
7. 高稿宣裕, 淺井毅, Coating 工具의 切削性能과 母材의 影響, 精密機械學會, 春秀大會學術講演集, pp. 321~322, 1980.
8. Sven Ekemar, 'Coated Indexable Cemented Carbide inserts-A development in Process, Society of Manufacturing Engineers, pp. 10~22, 1977.
9. H. Schachner, R. Funk and H. Tannenberger, Observations Concerning the Adherence of Amorphous CVD Alumina Coatings on Castings on Copper and Copper alloys, Geneva, Research Centre, pp. 485~489, 1976.
10. H.E. Himtermann and H. Case, Nucleation and Catalysed growth of  $\text{TiC}$  Produced by CVD on Cemented Carbide, Laboratoire suisse de Recherches Hologeres Neuchatel, pp. 352~367, 1972.
11. O. Pacher, Preparation and Properties of hard-material layers for metal machining and jewelry, American Vacuum Society, pp. 743~748, 1975.