

最近의 被覆 超硬合金 切削工具

鄭 堃

材 料 工 學 科

(1980. 11. 10 접수)

〈抄 錄〉

本稿에서는 化學蒸着法(CVD)에 의한 Coating 으로 Metal Protection 方法을 紹介하였다. 被覆 切削工具의 生産活動에 큰 活氣를 불어 넣어준 最近 研究活動의 進歩는 많은 超硬合金 製造會社로 하여금 超硬合金에 Titanium Carbide(TiC), Titanium Nitride(TiN), Titanium Carbonitride [Ti(CN)], Alumina (TiC+Al₂O₃, Double layer), Titanium Oxycarbide [Ti(CO)], Hafnium Carbide (HfC), Hafnium Nitride (HfN)를 얇게 被覆시킨 切削工具를 販賣케 하는데 큰 도움을 주었으며 被覆 超硬製品의 需要는 앞으로 增加할 것이 豫想된다.

Recent Developments in Coated Hardmetal Cutting Tools

Eun Chung

Department of Materials Science

(Received November 10, 1980)

〈Abstract〉

In this review the protection of metals using coatings produced by Chemical Vapor Deposition (C.V.D) is discussed. Developments that has led to a great resurgence in the activity of manufacturing Coated Cutting tools has been marketing by various companies of cemented carbide tool coated by C.V.D. process with a thin layer of TiN, TiC, Ti(CN), TiC+Al₂O₃, Ti(CO), HfN, HfC.

I. 緒 論

탄화텅크스텐(WC), 코발트(Co)를 주성분으로 하는 超硬合金은 開發이래 약 반 세기를 경과 했으며 여러 가지 改良이 加해져 切削工具, 耐磨耗工具로서 넓게 使用되고 있다. 그러나 近年의 切削加工의 高能率化의 움직임은 大量加工 專用機인 Transfer Machine, NC 旋盤의 出現을 낳고 이와 함께 切削工具에도 보다 高度의 性能이 要求되고 있다. 이러한 要求에 應하여 開發된 것이 被覆 超硬合金이다. 이것은 超硬合金 Throw-away Tip의 表面을 TiC, TiN 등의 硬質物質로서 5~10 μ m의 두께로 Coating 한 것으로서 開發당초부터 超硬工具 市場에서 注目を 끌었다.

Coated Tool은 開發된지 10년이 넘었으며 Throw-away tip에 占有하는 Coated Tool의 役割은 최근 점점 커져가고 있다. 그 이유로서 첫째, Coated Tool 用의 超硬合金 母材가 開發되었고 Coated Tool의 強度가 向上하여 신뢰성이 높아지고 둘째로 Coated Tool에 맞는 工具 形態가 研究되어 Coated Tool의 性能이 보다 効果적으로 발휘될 수 있는것, 셋째로 Coated 層이 初期의 TiC로부터 最近의 複層 Coating에 도달하기까지 Coating 技術의 發展에 의해 進歩된 것이다. 本 稿에서는 이러한 Coating Tip의 最近의 發展의 상황을 주로 Coating 層의 性質과 切削性能에 焦點을 두어 記述코자 한다

II. Coating 層과 耐磨耗性

거주 5~10 μ m의 TiC를 超硬合金 表面에 Coa-

ting)이다. 것에 의해 磨耗率이 비약적으로 向上하게
 때문에 Coated Tool의 出現은 切削工具에 있어서
 는 甚한 혁명적인 것이다. 이 때문에 그 實用化의
 研究이 廣하다. Coating 層의 그 磨耗性能을 理論的
 으로 追求한 研究은 甚다. 미국 MIT의 Suh 교수
 등의 一連의 研究은 甚은수 多다 하나이다. 그의
 Suh 先生은 Coating 層의 磨耗性能을 Coating 物質의
 化學的 安定性과 直接하여 考察하고 있다. Fig.1의
 切削工具에 쓰여지는 主된 炭化物, 窒化物, 酸化物
 의 生成自由에너지의 溫度에 依한 變化를 나타낸다.
 物質에 依한 差異가 있지만 一般적으로 炭化
 物, 窒化物, 酸化物의 生成自由에너지는
 低下하고 化學적으로는 보다 安定된 化合物을 이룬
 다. 같은 炭化物 中에서도 週期律表上的 IVa, Va
 族을 例들면 HfC, ZrC, TiC, TaC, NbC의 順
 으로 生成自由에너지는 低下한다. Suh의 그의 考
 고(考)에 의해서 IVa, Va 族의 炭化物를 超硬合金
 에 被覆하여 切削時의 磨耗性能을 測定하고 工具의
 Rake Face의 Wear를 生成自由에너지가 보다 낮
 은 것이 好라 考하여지는 것을 確證한 바 있다. 이
 樣한 Coating 物質의 化學的인 安定性은 切削工具의
 磨耗에 重要한 影響을 준다고 생각하였다. 그 理
 由으로서 一般적으로 切削工具의 磨耗은 被削材의
 의 磨削과, 發熱에 依한 塑性變形, Chip 削의 反
 應, 酸化 等에 依해 進行하는 것 등이 있다. 이 中
 에서 發熱에 依한 塑性變形, Chip 削의 反應, 酸化
 는 切削速度가 增加함에 따라서 Rake Face의
 溫度가 上昇하기 때문에 激增하게 된다.

특히 Chip이 削리 나오면서 Rake Face의 磨耗
 는 主로 化學反應, 酸化에 依한 것이라고
 생각된다. 이러한 이유에서 Coating 物質은 可能
 한 化學적으로 安定하고 또한 硬度가 높은 것이 好
 탈되스리라. TiC, TiN 같은 固溶體인 Ti(CN)은
 이러한 性質을 具備하였으며 이러한 Coated Tool
 은 初期부터 使用되고 있으나 最近의 Coated Tool
 은 보다 뛰어난 性質을 滿足시키는 새로운 Coating
 層이 開發되고 있다.

III. 새로운 Coating 層

1. HfN Coating

最近 美國의 Teledyne Firthsterling 社는 HfN
 Coated Tool을 開發하였다.⁽³⁾ Fig(1)로부터 明瞭

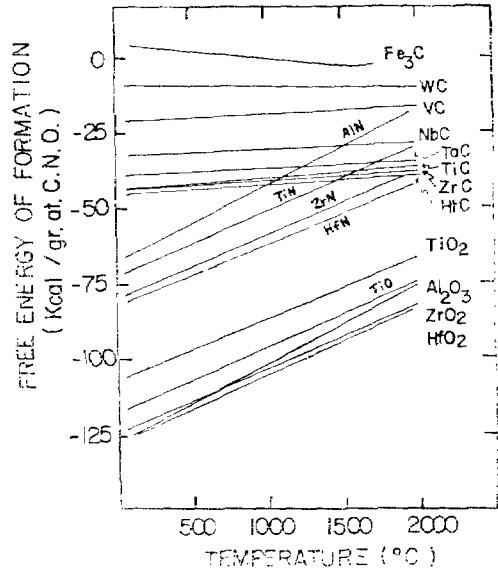


Fig 1. Free energy foundation of Various Hard Materials.

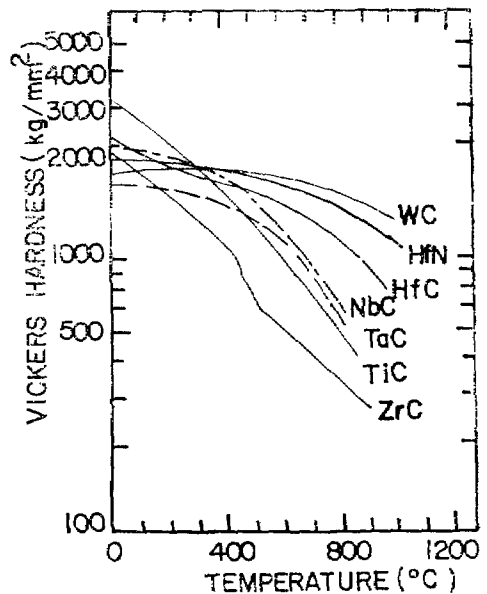


Fig 2. Hardness of Carbides

하게 알 수 있는 것처럼 HfN은 窒化物 中에서는
 生成自由에너지가 가장 작고 安定된 化合物이라고
 생각되어 진다. 硬度는 常溫에서는 TiC에 비해 낮
 으나 高溫이 되었을 경우에 低下가 작고 WC 다음

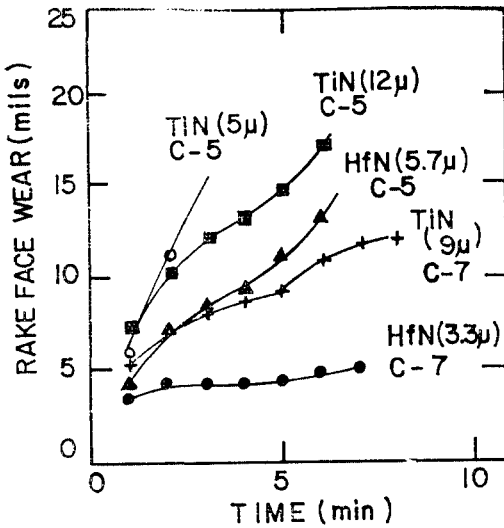


Fig 3. Rake Face Wear, HfN-Coated vs TiN Coated Tools

Conditions, Workpiece 4340 Steel, H_B : 28-33
Cutting Speed: 500 sfm
Feed: 0.153 ipr
Depth of Cut: 0.100 in

가는 高温硬度を 가지고 있다.

이러한 關係를 Fig(2)에 나타내었다. 이러한 利點을 가진 HfN Coated Tool의 耐磨耗性을 TiN Coated Tool의 경우와 比較한 것을 Fig(3)에 나타내었다. Fig(3)으로 알 수 있는 바와 같이 HfN Coated Tool은 TiN Coated Tool에 비해 어느 경우에도 좋은 耐磨耗性을 나타내고 있다. Firthsterling 社에서는 最近에 종래 판매하고 있는 TiN Coated Tool을 HfN Coated Tool로 대체하고 있는 實情이다. 이처럼 HfN Coated Tool은 새로운 Coated Tool로서 주목을 받고 있으나 Hf의 價格이 높기 때문에 Cost가 높아질 것으로 생각되며 이 점이 문제이다.

2. Ti (CO) Coating

Carson과 그의 동료들은 TiC와 TiO의 固溶體인 $Ti(CO)$ [$Ti(C_xO_y)$, $x+y \leq 1$]. Sputtering法을 利用하여 Coated Tool을 製造하였으며 耐磨耗性이 TiC에 비해 向上하는 것을 報告하고 있다.⁽⁴⁾ Fig(4)의 $Ti(C_xO_y)$ 의 C, O물分率에 따른 生成自由에너지의 變化를 나타냈다. $Ti(C_xO_y)$ 는 TiC와 TiO의 全率 固溶體이기 때문에 Fig(4)에서 알 수

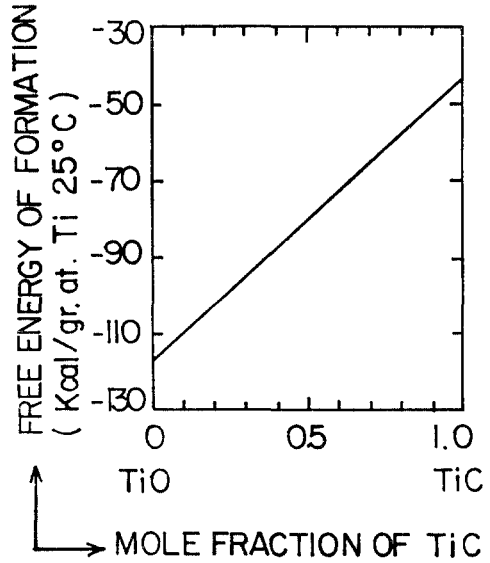


Fig 4. Free energy foundation on $Ti_2C_xO_y$ as a function of C and O Content

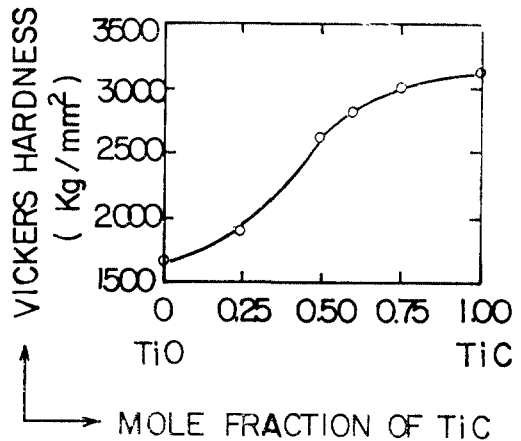


Fig 5. Vickers Microhardness on single grains of $Ti_2C_xO_y$ as a function of C and O Content

있는 바와 같이 生成自由에너지는 直線的으로 TiO가 증가함에 따라 低下한다. 한편 硬도는 Fig(5)에 나타낸것처럼 TiO가 많게됨에 따라 低下하지만 TiC가 많은 영역에서는 增加率이 낮아지는 것을 알 수 있다. 이 때문에 $Ti_{0.6}O_{0.5}$ 보다 TiC가 많은 $Ti(C_xO_y)$ 는 좋은 耐磨耗性이 기대된다. 日本의 菊池와 그의 동료들은 이 $Ti(C_xO_y)$ 를 化學 蒸着法에 依

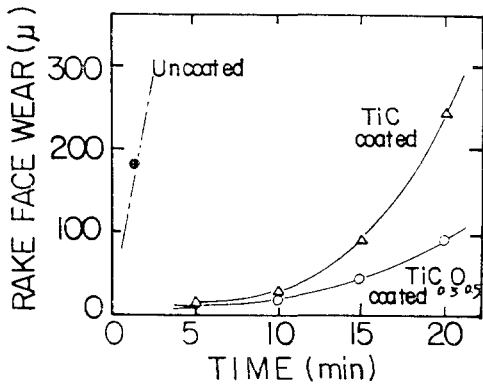
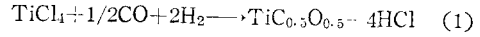


Fig 6. Rake Face Wear, TiC_xO_y Coated vs. TiC Coated Tool

Conditions Workpiece: SNCM-8 H_B : 270, Cutting Speed: 180m/min., Feed: 0.45mm/rev., Depth of Cut: 1.5mm

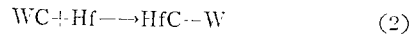
래 Coating 하여 $TiC_{0.5}O_{0.5}$ 부근의 固溶體는 式(1)의 反應에 의해 蒸着이 可能한 것은 안아왔다. (5)



얻어진 $TiC_{0.5}O_{0.5}$ Coated Tool의 Rake Face의 耐磨耗性을 Fig(6)에 나타냈다. 明證라 TiC 의 경우에 比較해 불 대 良好한 性能을 나타낸다. TiC 와 TiO 가 固溶하는 것이 의해 化學的으로 安定하여 좋은 耐磨耗性을 나타낸 것이라고 생각된다.

3. HfC Coating

Suh 와 그의 동료들은(1) 式(2)와 같은 Coupling Reaction과 Diffusion에 의해서 超硬合金(69% WC, 25% TiC , 6% Co) 위에 HfC Coating을 試圖하여 다른 Coating材와 比較 檢討하였다.



HfC Coating時 Carbon Source는 Substrate 이

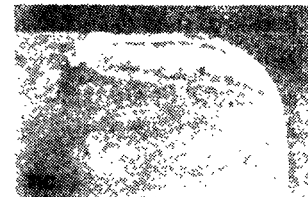
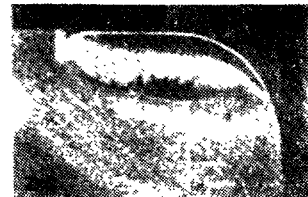
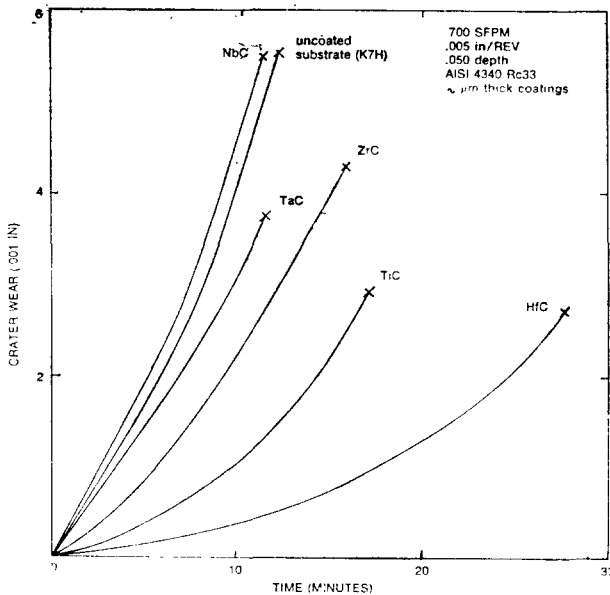
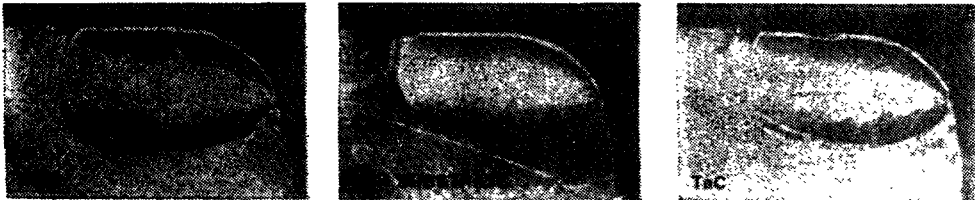


Fig.7. Test results of crater wear for varlous carbide coatings. Coating thickness is approximately 5 microns. Cut time was about 12 minutes on AISI 4340—700 SFPM, 0.005 in/Rev,

며 Gas 상태로부터 공급되지 않는다. 式(2)와 같은 반응에 의해 형성된 결합은 대단히 강하기 때문에 결합된 界面을 다이아몬드 Indenter 로 Indentation 할 때 Crack 은 界面에 나란하게 傳播하지 않는다고 報告하고 있다. Fig(7)에서 알 수 있는 바와 같이 HfC Coated Tool 이 다른 Carbide Coated Tool 보다 耐磨耗性이 좋은 理由를 첫째 HfC 는 Carbide 中에서도 가장 낮은 生成 自由에너지를 갖고 있어 化學적으로 매우 安定하고 둘째 磨耗가 일어날 때에 Coated Tool 과 被削材와의 固溶度로 說明하고 있다. Fig(8)은 전기음성전도도 對 원자반경(Electronegativity vs radius of atoms) 관계를 圖示한 것으로 Fe 원소 주위의 圓은 5%의 固溶도를 나타내

고 있다. Fig(8)에서 알 수 있듯이 Fe(Workpiece) 中の W의 固溶度는 Fe 中の Hf 이나 Ti의 固溶度 보다 훨씬 크다. 即 Fe의 전기음성전도도와 원자 반경이 다른 元素들은 낮은 磨耗率을 갖는다.

4. Al₂O₃를 사용한 複層 Coating

Al₂O₃는 Fig(1)로부터 알 수 있는 바와 같이 生成 自由에너지가 낮고 化學적으로 아주 安定된 物質 中の 하나이다. 耐酸化性, 耐熱性이 뛰어나고 高溫硬도도 높기 때문에 종래부터 Ceramic 工具의 主成分으로서 使用되어 오고 있었다. Ceramic 工具는 Al₂O₃ 粉末을 燒結에 의해 高密度한 것으로서 切削速度 300m/min 以上の 高速으로 加工 可能한 것으로 그 脆性 때문에 一定한 加工으로 限定되어 있다. 最近에는 Hot Press를 使用하나 아직 切削工具로서 큰 領域을 占有하지 못하고 있는 實情이다. 이 耐磨耗性이 뛰어난 Al₂O₃를 Coating 層에 適用하여 超硬合金의 靱性을 利用하여 Coated Tool을 만드는 시도는 1971년에 美國의 G.E.社⁽⁶⁾ 및 Swiss의 Battelle 研究所⁽⁷⁾에 의해 연달아 開發되어지고 있다. G.E社는 商品名 ProMax 500 Group으로 販賣하고 있다.

이것은 超硬合金에 直接 Al₂O₃를 (C.V.D(化學蒸着)에 의해 5~6μm Coating 한 것이다. 이 Coated Tool은 鑄鐵 切削전용의 材種으로서 Ceramic에 다음가는 高速切削이 可能하나 鋼 切削에서는 그다지 좋지 않은 缺點이 있다. 原因은 주로 超硬合金과 Al₂O₃의 부착강도가 충분하지 못한것, Al₂O₃

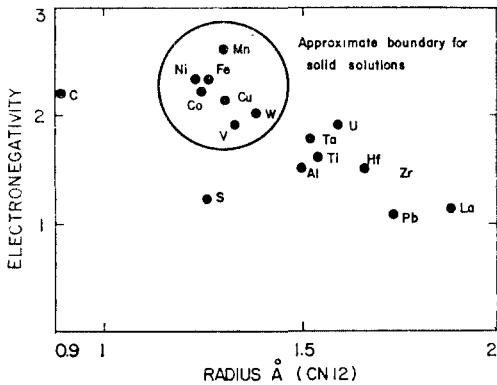
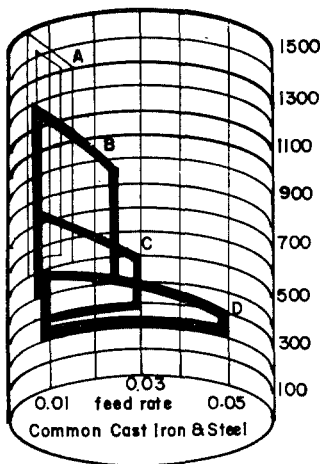


Fig 8. A Solubility chart in terms of electronegativity and the radius of elements.



ProMax 500 Inserts

	speed	feed
A. ProMax 545	500—1500	0.004—0.015
B. ProMax 570	400—1200	0.004—0.025
C. ProMax 515	250— 750	0.004—0.000
D. ProMax 518	200— 500	0.008—0.050
	(SFPM)	(IPM)

Fig 9. Cutting Speed and Feed of ProMax 500 Group Inserts

가 結晶成長하기 爲워 Coating 層의 強度가 低下하는 등의 2가지 點에 있는 것으로 생각된다.

Fig(9)은 G.E 社의 Promax 500 Group의 被覆超硬合金의 종류와 切削速度 및 移送의 關係를 圖示한 것이다. 여기서 ProMax 545와 570은 Al_2O_3 Coated Tool이고 ProMax 515와 518은 TiC Coated Tool을 나타낸 것이다.

Funk 등은 TiC 위에 Al_2O_3 를 Coating 하는 것에 의해 鋼切削에도 좋은 耐磨耗性을 나타내는 것을 報告하고 있다.⁽⁸⁾

Lindström 등은 Al_2O_3 를 Coating 할때에 TiC를 Coating 한 위에 Al_2O_3 를 Coating 하는 편이 超硬合金 위에 直接 Coating 하는 것 보다는 Al_2O_3 의 核發生이 均一하고 緻密한 Coating 層이 얻어진다고 報告하고 있다.⁽⁹⁾ 일본의 菊池 등은 $TiC_{0.5}O_{0.5}$ Coating 層 위에 Al_2O_3 를 Coating 한 경우 TiC층 위에 Al_2O_3 를 Coating 한 경우에 比해서 더욱 緻密하고 微細한 結晶核이 얻어진다는 것을 알아내었다. 이처럼 種래의 Coating 層(TiC, TiN 등)의 特性을 갖고 Al_2O_3 의 化學的 安定性을 利用한 Coating을 商品化한 것은 세계에서 現在 3社단으로 複層化에는 高度한 技術이 필요하다고 생각된다. 일본의 三菱金屬의 U 77 Grade는 TiC와 Al_2O_3 사

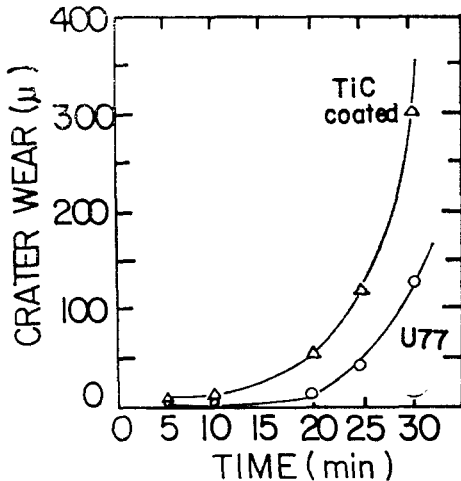


Fig 10. Crater Wear as a function of Cutting Time for TiC-Coated and U 77

Conditions; Workpiece, SNCM-8 Hardness H_B 200, Cutting Speed: 200m/min
Feed: 0.45mm/rev
Depth of Cut: 2mm

이에 부착강도를 向上시키기 爲해 特殊 Ceramics를 Interlayer로 Coating 한 3重層 Coated Tool이다. U77 Grade는 鋼의 高速 粗切削 및 鑄鐵 高速切削의 分野에서 뛰어난 耐磨耗性을 발휘하고 있다. Fig(10)에 鋼의 高速切削의 경우의 U 77과 같은 超硬合金 Substrate에 TiC를 Coating 한 것과 Rake Face의 磨耗時間 變化에 따른 삭모率을 나타내었다. Al_2O_3 를 主體로 하는 複層化 效果에 의해 耐磨耗性이 훨씬 向上한 것을 알 수 있다.

5. 物理蒸着法(P.V.D)에 의한 Coating.

現在 Coated Tool은 化學蒸着法(C.V.D)에 의해 Coating하고 있다. 이것은 1,000°C 전후의 高温에서 化學反應에 의해 tip의 表面에 Coating하는 것으로 부착강도가 높고 結晶性이 좋은 化合物이 얻어지고 量産에 適合한 理由로 널리 利用되고 있다. 최근 이것과 다른 物理蒸着法에 의해 Coating이 活潑히 研究되고 있다.

이것은 Sputtering, Ion Plating으로 代表되는 것 처럼 Gas의 Plasma 狀態에서 생기는 Ion을 利用하여 Coating을 行하는 것이다. 부착강도에서 약간 缺點을 가지면서도 독자적인 長점을 갖는 研究가 계속되고 있다. 큰 장점으로서는 高速度鋼(H.S.S)의 열처리 온도(550°C) 以下에서 Coating이 可能하기 때문에 Coating 後의 열처리가 필요없고 H.S.S의 工具壽命의 延長이 可能한 것이 報告되고 있다.⁽¹⁰⁾⁽¹¹⁾

또 Bunsha는 Ion Plating法에 의해 TiC-Ni의 複合相의 Coating이 얻어진 것을 報告하고 있다.⁽¹²⁾ 이처럼 C.V.D에서는 곤란한 低温의 Coating과 複合化合物 Coating이 얻어지는 것은 P.V.D의 큰 長點이다.

IV. 結 言

최근의 Coated Tool에 있어서 Coating 層의 化學的 安定性을 中心으로 考察하여 보았다. 切削工具로서의 Coated Tool의 性能은 Coating 層만으로 결정되는 것은 아니다. 即 Substrate(母材)인 超硬合金의 性質, Coated Tool의 工具형태에 依해서도 크게 좌우된다. 이 方面의 研究도 活潑히 行해지고 있고 보다 高性能의 Coated Tool은 目標로 開發이 進行되고 있다.

Coated Tool의 需要는 앞으로도 增加할 것이 예상되며 최종적으로 Throw-away TiP 전체의 60% 이상이 Coated Tool 될 것도 예상하고 있다.

참 고 문 헌

1. W. Carson, N. Cook, B. Kramer, S. Naik, N. Suh: Enhancement of Tungston Carbide Tool Properties, Annual Progress Report to NSF, NTIS, G.K 29379 (1973).
2. N. Suh: Proceedings of the 1976 Int. Conf. on HardMaterial Tool Technology, 118.
3. R. V. Leverenz; Proceedings of Symposium on 'New Developments in Tool Materials and Application,' held in Chicago, March (1977).
4. W. Carson, C. L. Leung, N. P. Suh, M. C. Shaw: Annals of the CIRP, 23, (1974), 25.
5. N. Kikuchi, H. Doi, T. Onishi; Proceedings of the 6th. Conf. on CVD, (1977), 403.
6. 토마스·유젠·홀他: 特開昭 48-217.
7. 로랜·판크他: 特開昭 48-17480.
8. R. Funk, H. Sachachner, C. Triquet, M. Kormann, B. Lux: J. of the Electrochemi. Soc., 123, (1976), 285.
9. J. N. Lindström, R.T. Johannesson: J. of the Electrochemi. Soc., 123, (1976), 555.
10. K. Y. Su, N.H. Cook: 5th North American Metal Working Research Conference Proceedings, (1977), 297.
11. 河野昌: 金屬材料, 19, (1976), 38.
12. R. F. Bunsha, A. H. Shabaik: Semi-Annual Technieal Report No.2, UCLA-ENG-7559.