

## Adhesion of TiN Films deposited on High Speed Tool Steel by Ion Plating

山 岸 憲 一 郎  
(株) 不 二 越

### 1. 서 론

不二越 會社의 主生産品은 Cutting Tools, Forming Tools, Dies Tooling, Special Steels, Bearings, Industrial Furnace, Hydraulic Equipments, Industrial Robots 그리고 Superprecision Machine 등이다. 특히 저회 회사에서 만든 Robot 가 한국의 초대형 회사에 납품되고 있다. 일본에서 생산되는 절삭공구의 대부분은 금색으로 TiN을 coating 한 것이 주이다. 재료 (substrate)인 High Speed Steel (HSS)에 대한 내용을 주로 발표하겠다.

절삭공구의 코오팅에 대한 일본의 현황을 살펴보면 절삭공구중 TiN계통을 코오팅한 것이 (86년도 기초) 절삭공구중 약 40%를 차지한다.

이중 Gear cutter 용의 Build up Hoa 가 80%이다. 사용자 별로보면 자동차 제조회사들 (ex, Toyota, Nissan, Honda etc)은 100%가 TiN코오팅 절삭공구의 납품을 바라고 있다.

오늘 발표내용의 주 요점은 이들 코오팅을 위한 PVD방법에 대한 연구결과를 소개하고자 한다.

### 2. 표면처리

Ion plating 방법에 의한 코오팅의 良否(品質)를 정하는 인자는 substrate parameter 와 plasma parameter 이다.

오늘의 주제가 「Adhesion of TiN Films Deposited on High Speed Tool Steels by Ion Plating」로 Substrate parameter 에 대해 주로 발표하고자 한다.

Table 1 에 표면처리의 종류와 목적을 나타내었다.

내마모성을 중심으로한 표면처리 정보가 대부분이다. 切削工具에서는 종래는 주로 질화처리가 사용이었다. 그러나 최근에는 CVD (Chemical Vapor Deposition) 또는 PVD (Physical Vapor Deposition)의 process 가 아주 좋은 것으로 알려져 이들의 연구가 활발히 이루어지고 있다. 이중 특히 Ionplating process 가 아주 많아지고 있다.

표 1 에 표면처리의 종류와 목적을 나타내었다.

**Table.1** 表面處理의 種數와 目的

表面處理法			主 目 的			
原 理	方 法	處 理 名 稱	硬 化	潤 滑	留 應 力	
變 態	表面加熱燒入	火 炎 燒 入 法	○		○	
		電 解 燒 入 法	○		○	
		高 周 波 燒 入 法	○		○	
變 態	表面浸透全體 加 熱 燒 入	浸 炭 燒 入 法	○		○	
		浸 炭 窒 化 燒 入 法	○		○	
擴 散 折 出	表面浸透擴散	窒 化 處 理	○		○	
		軟 窒 化 處 理	○			
		浸 硫 窒 化 處 理	○	○	○	
		弗 化 處 理	○			
		金 屬 浸 透 處 理	○			
加 硬 工 化	表面 性加工	송 도 평			○	
		表 面 壓 延			○	
被	鍍 金	硬 炭 크롬 鍍 金	○	○		
	鍍金折出處理	金 屬 닷 킬 鍍 金	○			
	放 電 溶 着	放 電 硬 化 處 理	○			
		盛 金	○			
	加 熱 溶 着	溶 着	○			
溶 融 吹 付	溶 射	○				
覆	蒸 着	化 學 蒸 着	○	○		
		物 理 蒸 着	眞 空 蒸 着	○	○	
			스 파 타 링	○	○	
			이온푸레이팅	○	○	

코오팅 방법중 process 상의 특징만을 비교해서 Table 2 에 나타내었다. 이중 화학 증착법은 기본적으로는 열화학반응을 이용하기 때문에 비교적 높은 온도 ( 1000 °C 전후)가 필요하다. 반면에 PVD법 (진공 증착법, Ion plating 법, Sputtering 법)은 비교적 낮은 온도에서 처리가 가능하나 평균 자유 행정 (mean free path)의 등 throwing power가 낮아서 Substrate 모양이나 형상이 복잡한 경우에는 대응성이 나쁜 문제점도 있다.

Fig.1 에 진공증착, Sputtering 그리고 Ion plating 방법의 대략을 나타내었다.

Table 2 各種 코오팅法의 特徵

		眞空蒸着	이온프레이팅	스파타링	化學蒸着	電氣鍍金	溶 射
粒子生成機構		熱에너지	熱에너지	運動量轉移	化學反應	溶液에서 折 出	火炎 또는 플라즈마에서
膜生成速度		빠 림 ( $< 75 \mu / \text{min}$ )	빠 림 ( $< 25 \mu / \text{min}$ )	純金屬以外 는 늦음 (Cu: $1 \mu / \text{min}$ )	중 간 ( $0.25 \mu / \text{min}$ )	늦음~빠림	아주빠림
粒 子		原子, 이온	原子, 이온	原子, 이온	原 子	이 온	小 滴
均 一 性	複雜形狀에 對 하 여	가스스켓 터링이 없 으면 나쁘다.	좋은나 膜 厚分布 不均一	좋은나 膜 厚分布 不均一	중 다	중 다	無
	작은 盲孔 에 대하여	不 良	不 良	不 良	限界있음	限界있음	限界強함
金屬의 코오팅		可	可	可	可	可(限定)	可
合金의 코오팅		可	可	可	可	限 定	可
耐熱化合物의 코오팅		可	可	可	可	限 定	可
粒子에 너지		低 $0.1 \sim 0.5 \text{ eV}$	高 可能 $1 \sim 100 \text{ eV}$	高 可能 $1 \sim 100 \text{ eV}$	PCVD에는 高 可能	高 可能	高 可能
不活性가스에이온에 의한 충격		一般에는 不 可	可	可 또는 形 狀에따라不可	可 能	無	可
表面과 層間의 混 合		一 般 에 없 다	可	可	可	無	無
加 熱 (外的手段에 의함)		可, 一般에	可 또는 없 다	一般的으로 없 음	可	無	一般的으로 없 다

Ion plating 방법은 1964년 XIASA에서 개발한 방법으로 코오팅에서는 비교적 새로운 p-process이다. Ion 또는 粒子的 substrate에 퍼지는 운동에너지들을 비교하면 진공증착법의 경우는 1eV, sputtering 방법은 10eV에 비해서 Ion plating 방법은 100eV로 거의 100배 차이가 난다. (그림참조). Fig.2에 電子온도, Gas 온도와 압력과의 관계를 나타내었다.

가스온도에 비해서 電子의 온도는 월등히 높지만 즉 Gas, Ion의 溫度는 낮은 非平衡의 저온 plasma를 써서 Ion화가 가능함을 말해준다. 예를들어 Ion plating 방법으로 어떤 化合物을 substrate에 코오팅시킬 경우 化合物중의 한 원소인 금속을 녹여서 증발시킨다. 또 한편

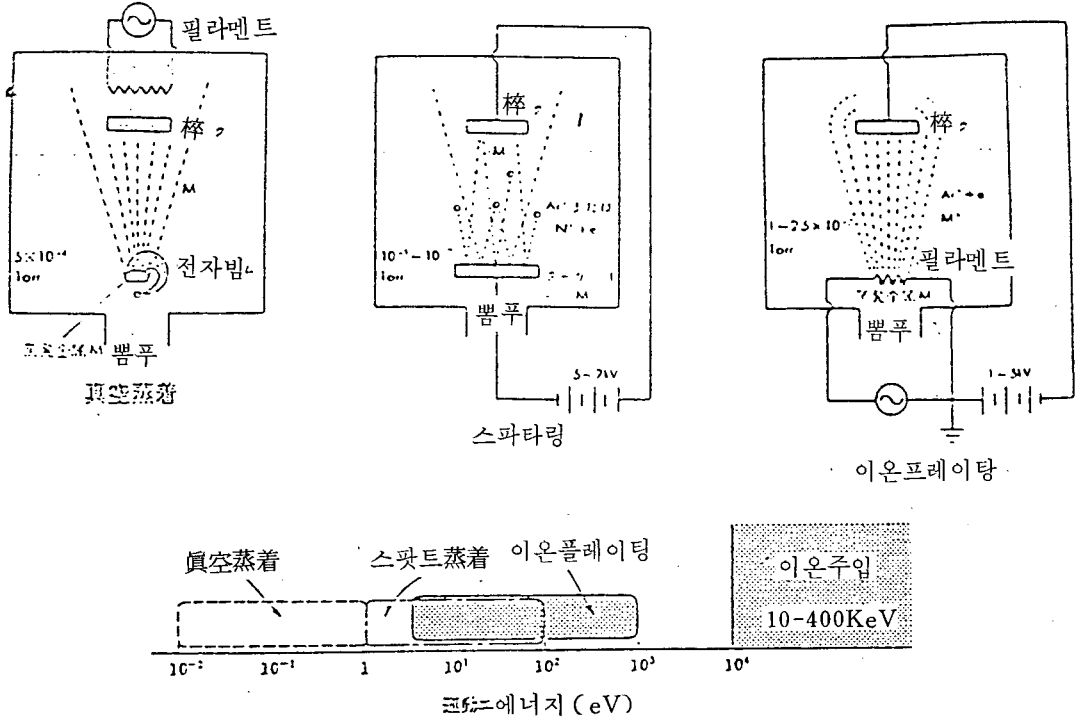
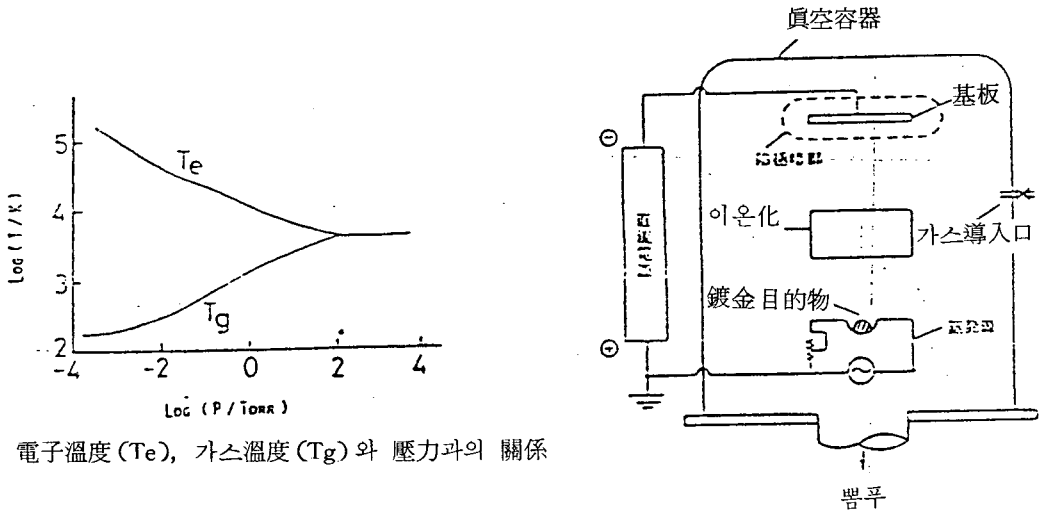


Fig.1 코오팅장치 및 운동에너지



電子溫度 (Te), 가스溫度 (Tg) 와 壓力과의 關係

Fig.2 電子온도, Gas 온도와 압력과의 關係

으로는 gas를 注入시키고 에너지를 加하여 이온화시키고  $\ominus$ 로 charge된 substrate에 이들  $\oplus$ 이온을 가속시켜 불게 하는 process로 이때  $\oplus$  Ion은 100 eV 程度의 energy를 갖게 된다.

이 Ion plating 방법의 또 하나의 특징은 같은 장치로 preplating을 할 수 있다. 예를들면 Ar과 같은 不活性 가스를 이 장치에 넣고 금속은 증발시키지 않은 상태에서 이 Ar만을 이온화시켜 coating시키고자 하는 substrate를 이온으로 bombard cleaning (세척)을 할 수 있다는 점이다.

Fig. Fig. 3은 세척 (bombard) 전후의 재료의 표면 사진을 나타낸 것이다.

왼쪽은 처리전의 표면상태이고, 오른쪽은 처리후의 표면상태이다. 표면의 matrix가 剥손상되어 carbide만이 불쑥 튀어 나와 있음을 알 수 있다. 이 작업은 코오팅 층의 밀착성에 가장 밀접한 관계를 가지게 된다. 다음에 금속을 코오팅하게 되는데 a) ~ f) 단계로 진행되면서 처음에는 carbide 돌출부가 다수 생기고 점진적으로 이들의 돌출부는 서로 연결되면서 최종적으로는 f) 상태와 같이 완벽한 코오팅이 된 다음 한 방향으로 成長한다.

이들 핵 생성수는 진공증착 방법보다는 이 Ion plating 방법이 월등히 많음을 알 수 있다.

다음 Fig.4는 현재 세계적으로 개발되어 사용되고 있는 Ion plating 장치를 나타낸 것이다.

a)는 1968년에 개발되어 ARE (activated reactive evaporation)라 명명된 Ion plating 장치로 Bunsha가 TiC를 처음 부착시킨 것이 특징이다.

b)는 ARE의 개량형으로 열전자 활성화 법이다. c)는 HCD (Hollow Cathode Discharge)를 부착한 Ion plating 장치이다. d)는 東獨의 HVD (Hoch Vakuum Dresden)에서 사용하는 방법이다. e)는 고주파로 활성화 시키는 장치이다. f)는 cluster로 증발시키는 방법이다. g)는 소련과 미국에서 개발된 장치로 solid state (고체 상태) 증발원을 여러군데 가지고 있는 Ion plating 장치하나로 multiarc라는 상품명으로 알려져 있다.

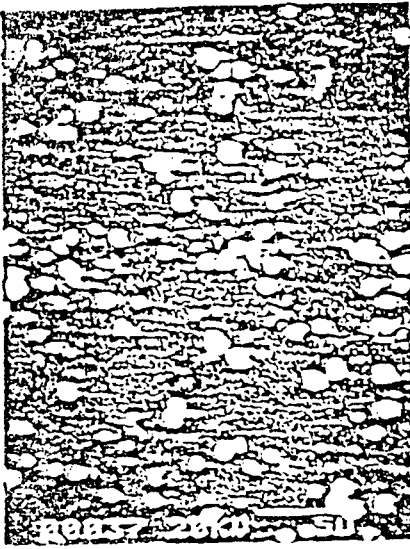
h)의 원리는 약간 다르지만 西獨의 L.H社 (Libolt Herath)에서 제안된 것으로 magnetron Sputtering이 장착된 장치이다.

i)는 西獨의 니시텐 슈타인사의 발트 샷스 공정으로서 왼쪽에서 전자 beam을 쏘는 것이 특징이다.

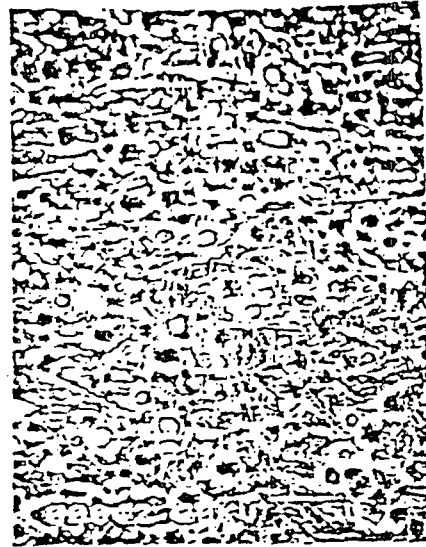
이상 코오팅 하는 데는 여러 종류의 process가 있으며 나름대로의 특징이 있지만 process parameter를 어떻게 조절해서 좋은 물질을 Substrate에 코오팅 시킬 것인가가 중요하다.

어떤 장치가 좋을까 외에도, 더 좋은 생각이 있을까 등등. 예를 들면 plasma parameter 중에도 bias voltage나 Ion 化率은 큰 의미를 가지고 있다고 보겠다.

또다른 생각으로는 CVD法을 쓰던지 PVD法을 이용하던지, 코오팅 하는 물질의 온도를



金 膜 Ⅱ



Ionbombard

高圧電工器具の表面

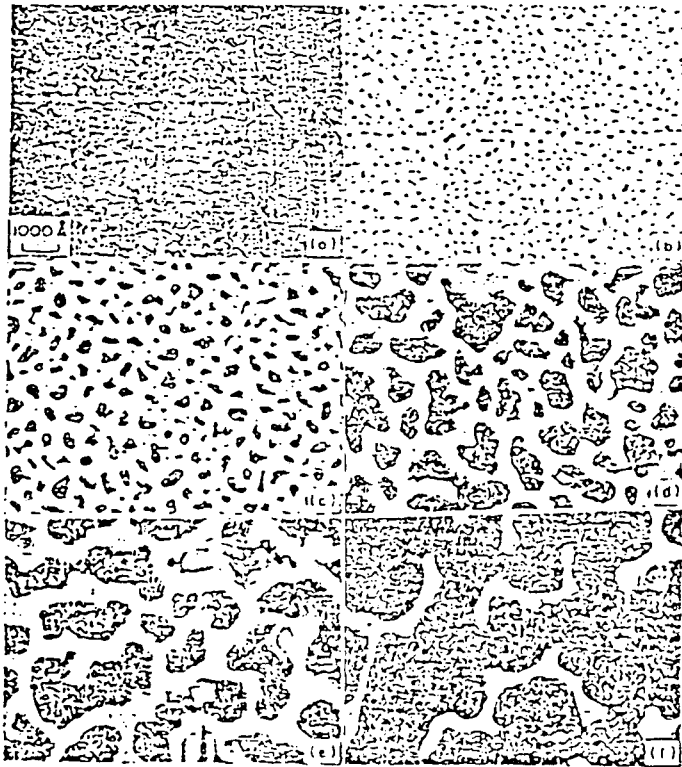


Fig.3 Sequence of micrographs illustrating the effect of increasing deposit thickness of gold on rock salt. X8000. (After Pashley-Ref. 101-with kind permission.)

내리고, substrate의 구석구석까지 파고 들어서 코오팅이 잘되게 하는 plasma CVD法이 계속 연구되고 있다. 예를 들면 日本의 東芝는 PCVD法으로 製品化하는 법을 연구하고 있으나  $Cl_2$  混入등 문제가 있어서 실용화까지는 이르지 못하고 있다.

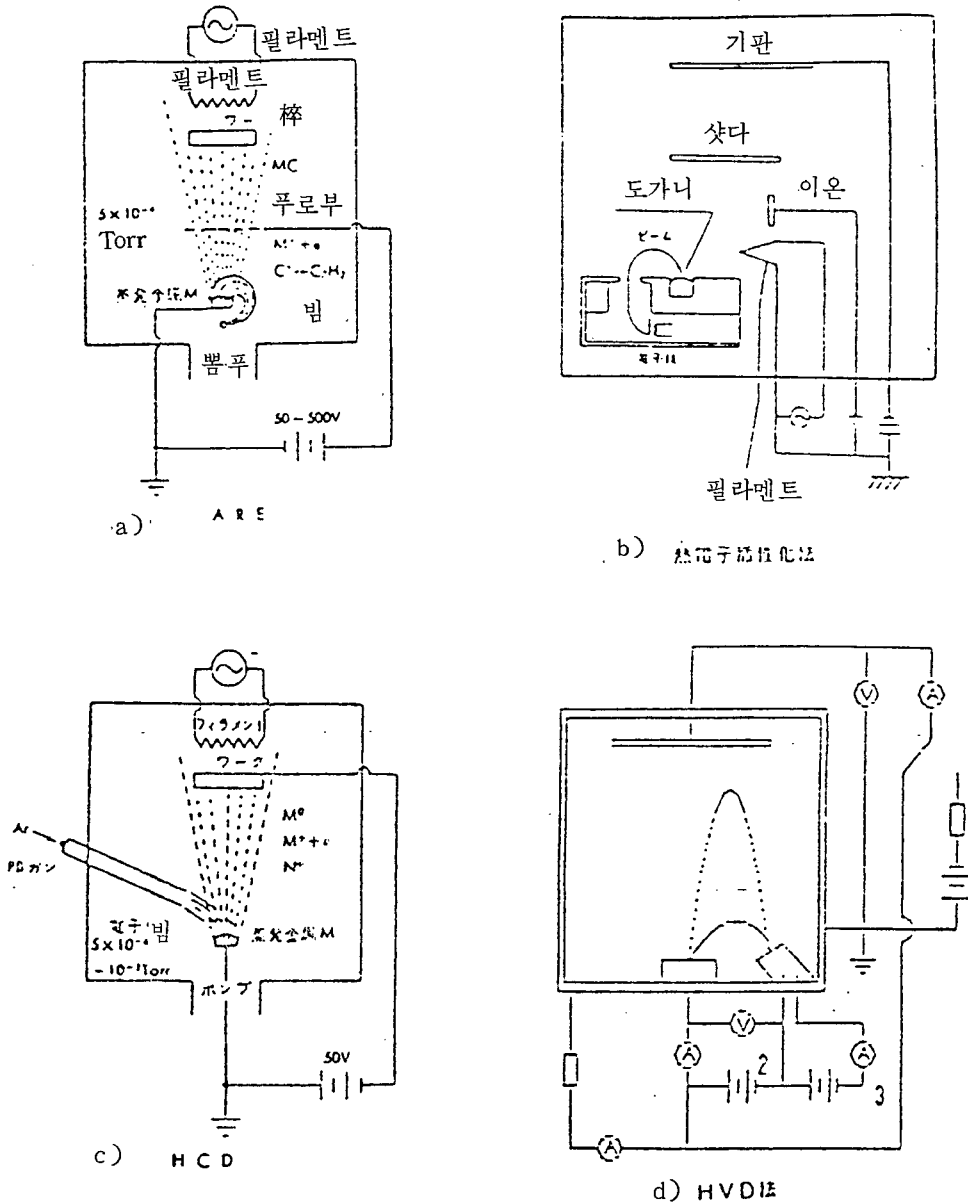
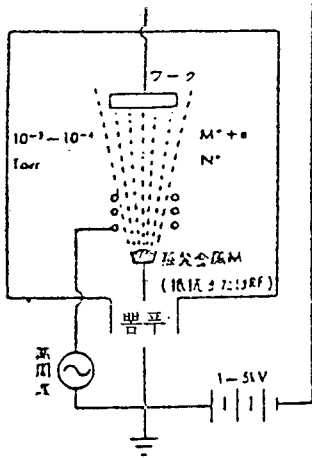
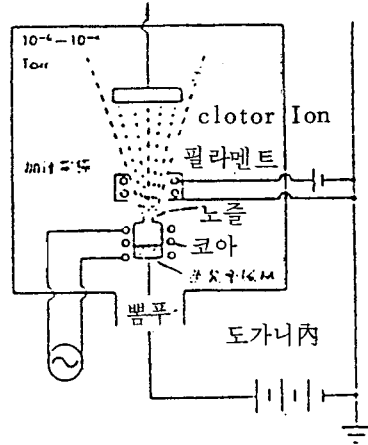


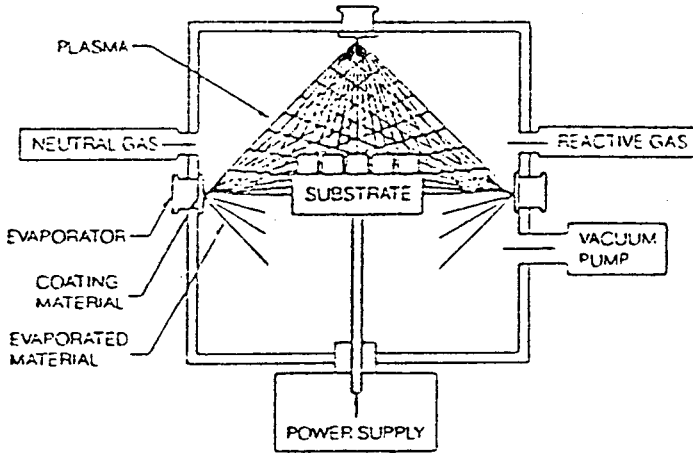
Fig. 4 코오팅 장비의 종류(a)



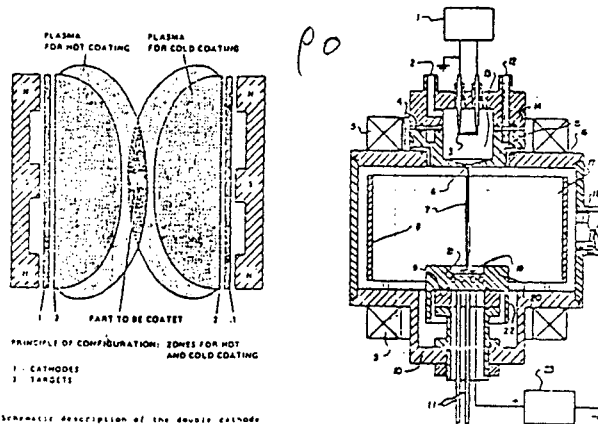
e) 高周波이온프레이팅



f) 크라스타이온프레이팅



g) 멀티아크법



h) Schematic description of the double cathode apparatus and the range of the plasma

Fig. 4 코오팅 장비의 종류(b)



Table 3에 코오팅재료의 결정구조, 경도, 용점 그리고 열팽창 계수등 각종 초경 물질의 물성을 나타내었다.

Table 3. 各種超硬質物質의 物性

分類	組 成	結晶構造	硬 度 ( Hv )	融 點 ( °C )	熱 傳 導 率 ( cal / cm <sup>2</sup> · sec · °C )	總膨脹係數 ( 10 <sup>-8</sup> / °C )
炭 化 物	B <sub>4</sub> C	斜方六方晶	1900-5000	2350	0.07	4.5
	TiC	面心立方晶	2980-3800	3180	0.041-0.08	7.61
	VC	"	2800	2830	0.010	6.5
	HfC	"	2700	3890	0.015	6.73
	ZrC	"	2600	3530	0.049	6.93
	NbC	"	2400	3480	0.034	6.84
	WC	六 方 晶	2000-2400	2730	0.070	6.2
	TaC	面心立方晶	1800	3780	0.053	6.61
	Cr <sub>3</sub> C <sub>2</sub>	斜 方 晶	1300	1890	0.045	10.3
窒 化 物	TiN	面心立方晶	2400	2930	0.069	9.35
	VN	"	1500	2050	0.027	8.1
	HfN	"	2000	2700	0.027	6.9
	ZrN	"	1900	2980	0.026	7.9
	NbN	"	1400	2300	0.009	10.1
	TaN	六 方 晶	1300	2090	0.023	5.0
	BN	立 方 晶	4700	1200-1500 에서 六方晶으로 變態	0.43-0.48 單結晶 3.1	4.8 (at 430°C)
酸 化 物	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	六 方 晶	2100	2030	0.072	8.6
高 速 度 工 具 鋼	—	—	850	1300	0.12	11.0

出典 : L.E.Campbell ed. : High Temperature Technology (1956)

W. D. Kingery : Property Measurements at High Temperature (1959)

R.Kleffer 他 : Hartstoffe und Hartmetalle (1974)

日本金屬學會編 : 金屬 데이터 북(1974)

B.C. NONB 他 : HEORPAHUUECKNE MATEPNA JI BI  
No.2 (1971)

P.Schwarzkopf 他 : Refractory Hard Metals, 其他

Process 는 말할것 없고 어느특성에 중점을 놓고 막재질을 선택할 것인가가 문제로 되고 있다.

이들 물성중 경도와 열팽창계수 특히 Substrate 의 열팽창 계수와의 차는 중요하다.

(1) 현재 실용화 되고 있는 물질로는

CVD법으로는 TiC, TiN, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 등이, PVD법에서는 TiC, TiN 등이며

(2) 실험실 단위로 연구되는 물질로는

CVD, PVD법에서 B<sub>4</sub>C와 HfN등이 주종을 이루며

(3) 장래성이 있는 물질로는 立方晶의 BN 또는 Diamond 가 가능하다.

특히 이 표를 參考로 하고져 하는것은 硬度, Substrate와의 열팽창계수의 差이다.

Fig 5. 는 각종 코오팅 재료의 생성자유 에너지와 溫度와의 關係를 나타낸 것이다.

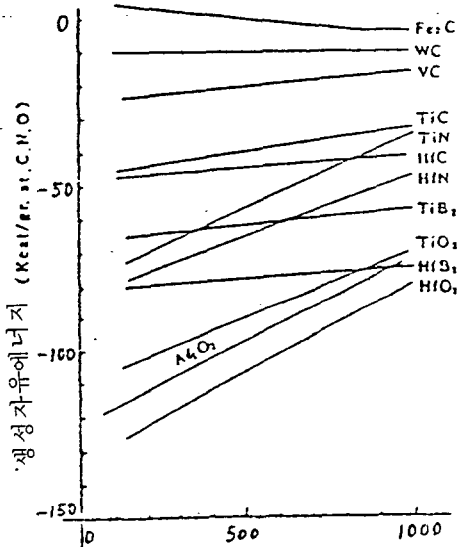


Fig 5. 各種 코오팅化合物의 生成 자유에너지의 溫度變化

그림에서 알 수 있듯이 직선이 - 쪽일수록 (생성자유에너지 값이 - 일수록) 또한 직선의 온도의존성이 적을수록 코오팅 재료는 안정하다.

현재 연구중인 재료는 HfN과 TiB<sub>2</sub>로 비교적 안정성이 높다. Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>는 온도의존성은 나쁘지만 훨씬 안정한 물질이라 하겠다.

이들 물질을 사용할 때 실제 마모는 어떤 형태로 일어나며 마모기구가 어떠한지를 표 4에 표면처리 효과와 함께 나타내었다. 실제 마모는 硬度만을 생각해서는 안되며, abrasive 마모, adhesive 마모, corrosive 마모 그리고 pitting 마모가 있다.

Table 4. 摩耗의 種類와 表面處理의 效果

	一 般 的 對 策		
引搥摩耗 (abrasive wear)	表面硬化	○	○
粘着摩耗 (adhesive wear)	表面硬化,	△	○
剝離摩耗 (corrosive wear)	耐食性的 向上	△	○
腐食摩耗 (pitting)	表面層의 級 硬化向上	○	×

○ 優 , ○ 效果有, △ 多少效果有, × 效果無

표에서 알 수 있듯이 내마모성을 목적으로 코오팅 (CVD, PVD) 시는 박리형 마모 (pitting wear) 형태에는 이들 코오팅 방법이 적당치 않음을 알 수 있다. 때문에 막재질에 대한 考察이 必要한데 표 5에 마찰계수, 시험편과의 관계는 그림 6에 마모속도와 비마모량과의 관계로 나타내었다.

Table 5. 靜摩擦係數

試片晶	組度	靜摩擦係數( $\mu$ )
硬質크롬金度金面	65	0.1798
알루미나磁器面	65	0.227
타탄磁面	65	0.224
TiC 코오팅面	65	0.1790

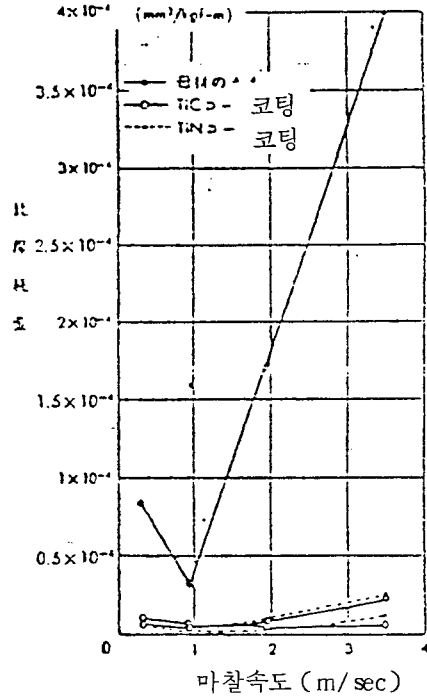
條件 나이론系 500 171(0.079  $\phi$ )  
 加重 5 gr  
 溫度 20 °C  
 40 %

이들 결과를 參考로 내마모성 재료를 선택하는 것이 하나의 방법이라 하겠다. 특히 코오팅안한 모재료에 비해서 TiC, 또는 TiN을 코오팅하면 마모가 거의 일어나지 않음을 알 수 있다. 지금까지는 실온에 대한 결과이지만 고온인 경우의 막재료의 내마모성 또한 중요하다.

그림 7은 각종 코오팅 재료 化合物의 고온에서의 비카스 경도變化를 나타낸 것이다. 또한 코오팅물질의 경도는 표 6에 나타냈다.

Table 6. 코오팅物質의 硬度

物質	비카스硬度 (kg / mm <sup>2</sup> )	
	25 °C	1000 °C
HfN	1700 ~ 2000	800 ~ 900
TiN	2000 ~ 2100	> 200
TiC	2500 ~ 2800	200 ~ 300
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2000 ~ 2100	300 ~ 3800



(板狀試片母材 H553 m, Hrc64.5 ~ 65.0)  
 마찰거리 400m 荷重 6.3 kgf  
 回轉링 SCM435 (φ30 × 3mm Hv160-170)

Fig 6. 摩耗試驗結果

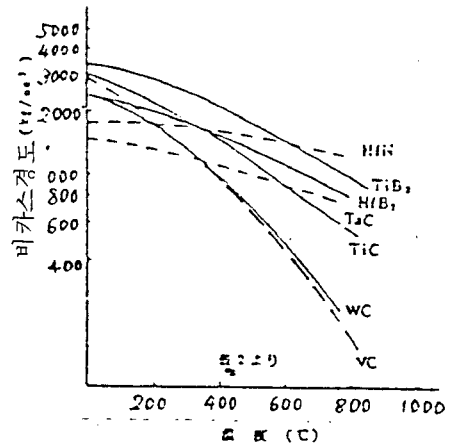


Fig 7 各種코오팅·化合物의 高温硬度 特性

아직 학자나 연구자들에 따라서 이들 Data에 여러가지 異論이 있기는 하지만 Hf 계통 (HfN, HfB<sub>2</sub>)와 Ti 계통(TiN, TiC) 재료는 高溫에서 특히 좋은 耐마모성을 나타내고 있음을 알 수 있다. 특히 이들 재료는 비커스 경도가 상온에서 2000 정도이나 1000 °C 나 되는 고온에서도 1000 정도 값을 유지, 약 절반정도로 감소하는데 비해 WC, VC와 같은 재료는 1000 °C의 고온이 되면 약 1/10 인 100이하로 떨어져 온도의존이 나쁘다. 이들 그림과 표에는 나타내지 않았지만 미국 MIT에서는 이들 耐 마모성의 방대한 Data를 Computer를 써서 정리하여 각종 내마모 재료의 기계적 마모성과 化學的 마모성과의 관계를 Graph해서 발표하고 있다. 그러나 기계적 耐마모성에서는 TiN보다는 이 SiC가 월등히 좋은 결과를 나타낸다고 보고하고 있다. 한 예를 들면 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>는 耐산성은 아주 좋으나 SiC는 이에 미치지 못한다.

한편 이들 재료를 코오팅한 공구들은 대기중에서 쓰이면서 열을 받게 되는데 이때 열을 가장 많이 받는 Crater와 Frank 부분의 마모가 중요하다. 이들 관계를 조사하기 위해서 본 연구팀은 몇종류의 초경재료를 사용 Ion plating 방법으로 만든 박막(Bulk가 아님)을 여러온도(100 °C ~ 700 °C)의 爐에 넣고 시간별로 처리하여 爐冷後 실온에서 이들 재료의 경도를 測定하였다. 700 °C가 되면 어떤 종류의 막이든 경도가 급속히 하락하고 있다.

예를들면 TiN막의 경우 이 온도에서는 산화 또는 막의 재질이 變化하여 다른 물질로 변한 것으로 생각된다. 600 °C에서는 경도는 계속 하락되고 있다.

500 °C에서는 HfN는 경도 변화가 없어 사용 가능하다고 사료된다.

300 ~ 400 °C까지는 VN, TiN가 사용 가능한 것으로 실험결과와는 나타나고 있다.

### 3. 밀착성 문제점

코오팅된 재료의 밀착성의 판단 또는 평가는 현재로는 매우 유동적이다. 最終적으로는 cutting test로 評價한다. 그러나 商品化하는 이들 공구를 전부 cutting test 하는데 문제점이 많다. 그림 8 a), b)에 스위스의 Vallie 박사팀에 의해서 개발된 scrtath test 장비의 일부를 나타내었다.

Diamond indenter를 코오팅한 물질표면에 올려놓고 하중을 변화시켜가면서 scratch 하는 單順한 것이다(a. 參照). 이때 박리시 음향을 Indentor에 부착된 acoustic emission detector로 catch해서 그때의 하중의 大小로 밀착성을 평가하는것으로 현장에서는 비교적 有效한 測定수단이다.

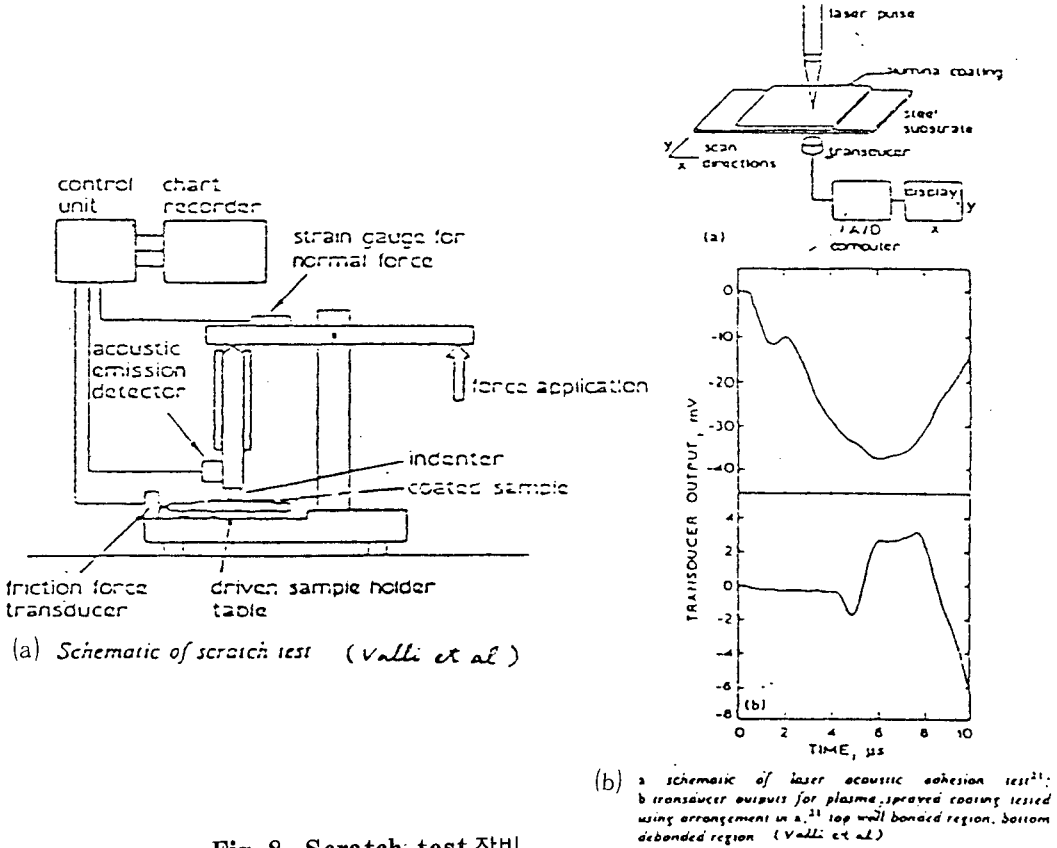


Fig.8 Scratch test 장비

그림 9에는 TiN을 코팅한 재료의 scratch 실험결과를 나타내었다.

a) 는 10.8 m scratch한 결과 0.24 mm의 Frank 마모가 발생하였으며 이때의 하중은 20 N이다. 한편 b) 는 14.6 m scratch한 결과 0.07 mm의 Frank 마모가 발생하였으며 이때의 하중은 50 N이었다. 같은 TiN 코팅 재료임에도 제조조건에 따라 월등한 차이가 발생할 수 있다. 즉 b) 가 월등히 밀착성이 좋음을 알 수 있다. scratch된 부분의 현미경 사진도 그림에 함께 나타내었다.

다음 그림 10은 substrate parameter로서 고속도강(HSS)의 성분과 밀착성과의 관계를 나타낸 것이다. Conventional 방법으로 만든 HSS강은 V( Vanadium)의 함량이 증가함에 따라 scratch가 나타나는 임계하중도 증가하고 있다. 즉 밀착성이 증가하고 있음을 의미한다(막두께 2~25%). 그러나 P/M (powder metallurgy 법) HSS에서도 V의 함량이 증가하면 conventional HSS보다 임계하중이 월등히 증가하며 6% 이상에서는 거의 포화된다.

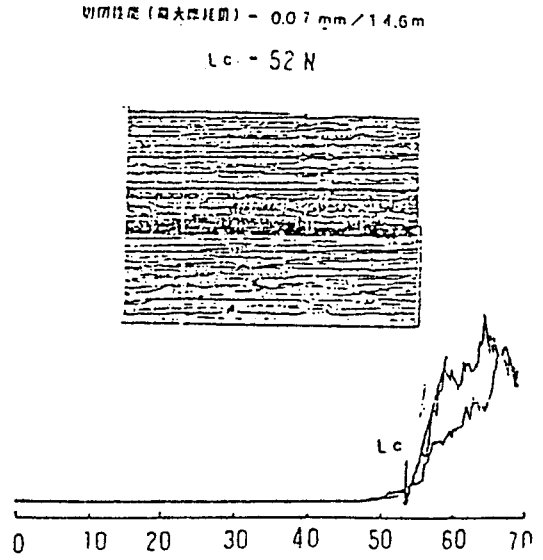
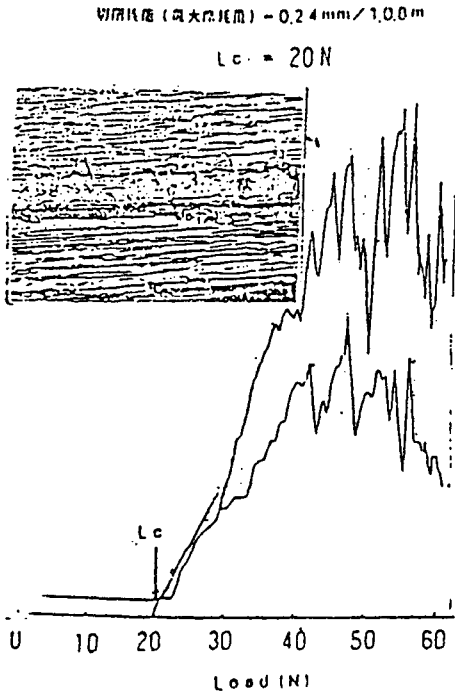


Fig. 9 TIN 코오팅 Hob Scratch 곡선

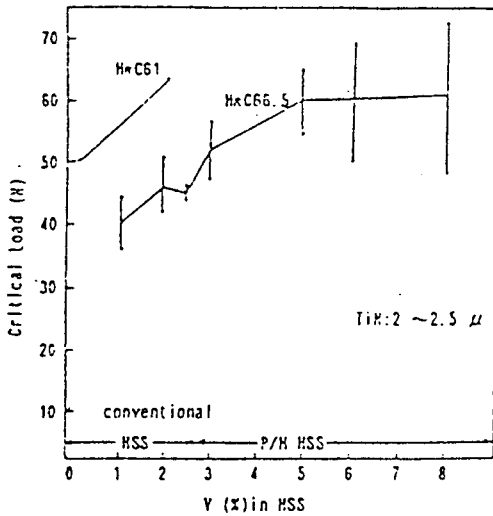


Fig.10. Adhesion of Tin on commonly used HSS.

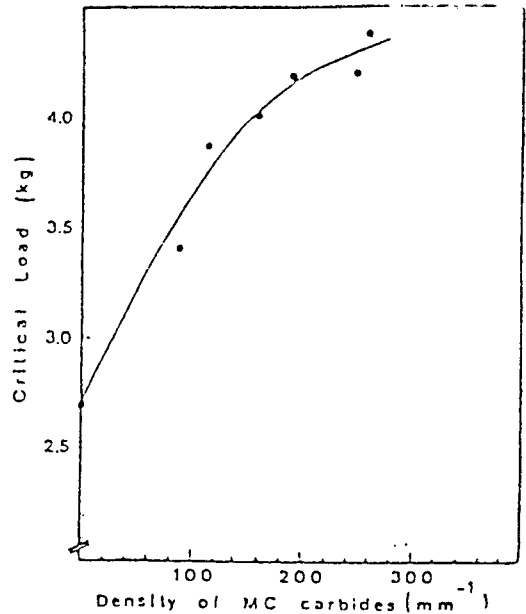


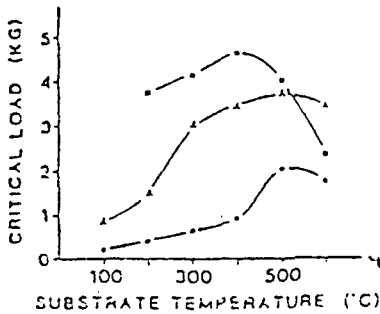
Fig.11 Critical load  $\mu$  as a function of surface density of MC carbide in the high-speed steel ASP 23. The critical load values shown are normalized to a substrate hardness of 65HRC (see the text). Deposition temperature is 450°C (Helmerison et al)

즉 일반 HSS 보다는 월등히 밀착성이 좋음을 알 수 있다. 접착력이 증가하는 이유는 VC와 TiN의 결정구조가 같기 때문이다. P/M HSS에서 접착력이 특히 좋은 이유는 V의 증가와 함께 gas 함량 증가로 여겨지나 검토의 여지가 있다. V 이외의 첨가물( Co, W, Mo etc )에 대한 실험도 하였으나 V만큼 연관관계는 나타나지 않았다.

그림 11은 MC(VC)의 밀도와 밀착성과의 관계를 나타낸 것이다.

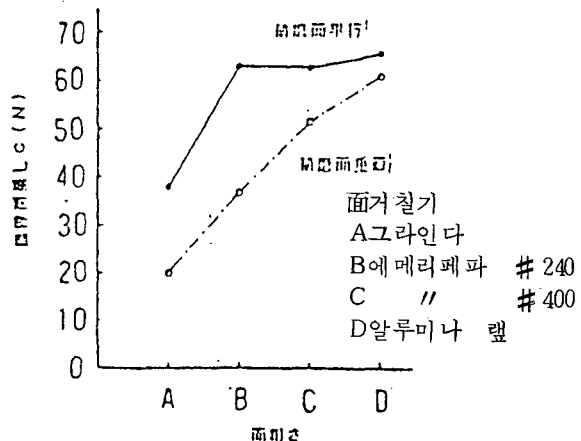
HSS에서 MC Carbide의 표면밀도가 증가함에 따라 밀착성은 증가한다. ( MC Carbide가 TiN막 밀착성에 강한 역할을 하고 있음을 의미함 )

그림 12에는 공구의 substrate 온도와 임계하중, 전처리상태와 임계하중과의 관계를 나타내었다. 이외에도 밀착성에 영향을 주는 인자로 최적온도와 전처리, 세척공정에 의한 막의 두께, 면의 요철, 그리고 면의 lapping 방향등이 있다.



Measured critical load values (kg) of the TiN films on the steel ASP23as a function of deposition temperature and pre-treatment, = degreased, = degreased and sputter etched and = degreased, sutter etched and an intermediat. layer of pure Ti.

	Lc (최초面처리)	Lc (최종面처리)	·12/7
面처리 A	38 N	20 N	1.2 μ
B	63	32	1.3
C	63	52	1.7
D	66	61	2.1



面처리 차이 에 의한 스크래치 테스트

Fig.12 임계하중에 영향 주는 인자 ( 온도, 표면상태 ) 臨界 荷重 Lc 의 變化

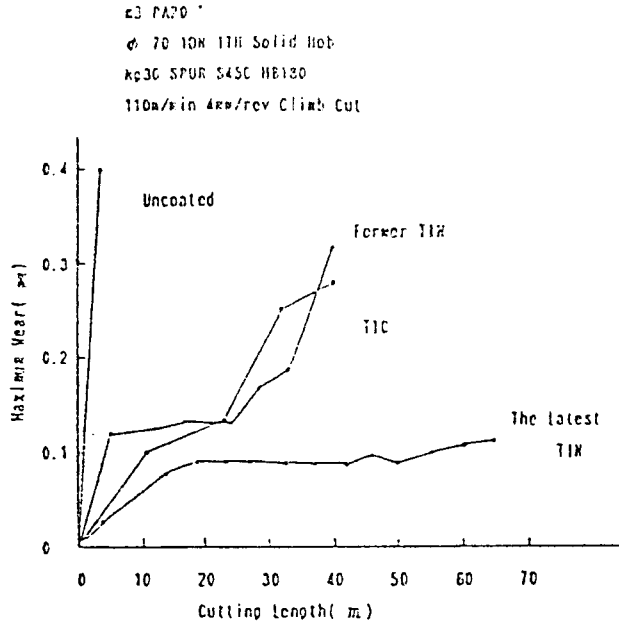


Fig. 13 Effect of the latest ion plating at hobbing test

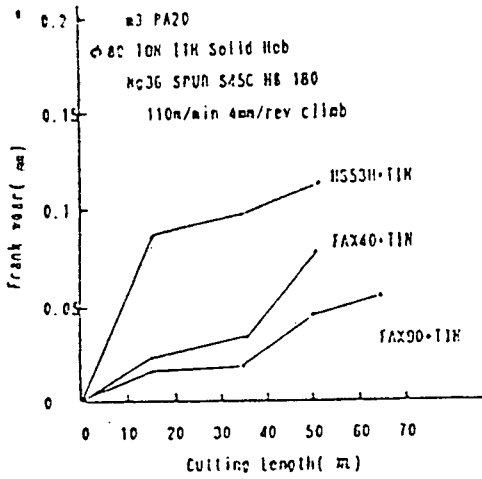


Fig. 14 Cutting ability of P/H HSS Ionplated TiN (a)

TiN의 경우 수년전만 해도 최대 마모량이 40m에서 0.3mm정도(Former TiN)로 수요자들은 만족했으나 최근에는 앞에서 열거한 공정개발로 60~70mm절삭길이에도 0.1mm 정도로 변했다. latest TiN은 내마모량이 월등히 증가하고 있다. 즉 plasma와 Substrate parameter의 개량결과로 여겨진다.

그림 14에는 Vanadium을 10%까지 함유시킨 P/M HSS강에 Ion plating 방법으로 피복시킨고속도강의 Frank 마모와 Crater 마모와의 관계를 나타내었다. 동일 재료인 경우에는 Frank 마모보다 Crater 마모가 월등히 큼을 알 수 있다. 즉 FAX



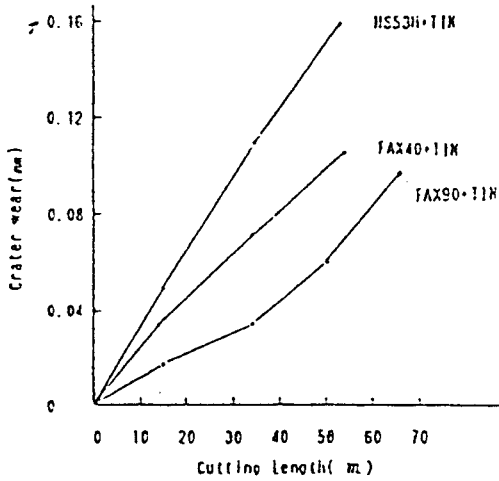


Fig.14 Cutting ability of P/H HSS Ionplated TiN (b)

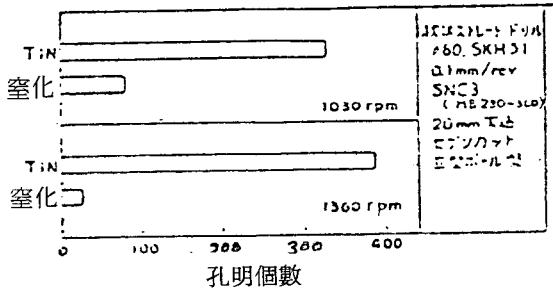


Fig.15 TiN 코오팅드릴의 切削性能

90과 같은 고급 P/M HSS 모재 (parameter)의 실용성을 나타낸다.

그림 15는 TiN을 코오팅한 Drill의 절삭능력을 나타낸 것이다.

횡축은 구멍을 뚫을 수 있고 종축은 절화품과 TiN을 코오팅한 재료의 비교이다. 회전수를 증가시킴에 따라 즉 최악의 환경상태로 쓸수록 차가 남을 알수 있다.

다음 그림 16은 금형을 만드는 회사에서 주조한 end mill의 시험결과이다. 그림에서 알 수 있듯이 처리를 안한 재료는 절삭길이 1m에서 0.2~0.3이며 powder metalugy 방법으로 한 재료도 동일 길이에 0.2정도이다. 그러나 TiN을 Coating한 end mill은 30m나 절삭해도 0.05이하로 거의 마모가 되지 않는다.

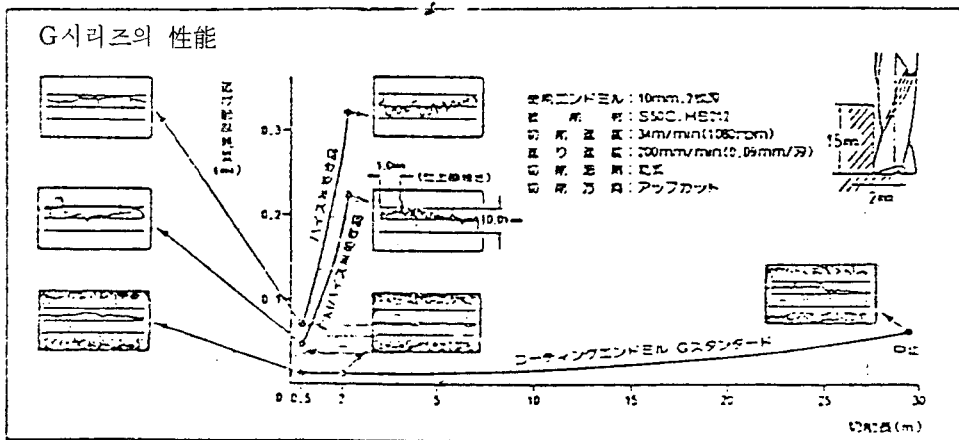


Fig.16 End mill 재질, coating 유무와 마모관계

금형임으로 연마면(仕上面)도 매우 중요하다. TiN을 코오팅한 end mill은 그림에서도 알 수 있듯이 다른 어느 재료보다도 연마면이 훌륭하고 깨끗하다.

다음 표6은 최근 일본 자동차연구소 기술조사 보고서에 발표된 보통강의 절삭시간, Speed에 따른 변성을 나타낸 것이다.

**Table.6 Transition of cutting time of counter shaft gear**  
(日本自動車研究所技術調査報告書第14號S61.7)

Materials of Tool	Usual Machine		The Latest Machine	
	High speed tool steel		Hard Metal ※	
Coating	Uncoated	Coated		
Net cutting time(sec)	84	50	12	11
Idle time (sec)	20	20	8	8
Cutting speed (m/min.)	70	100	122	250
Axial cutting speed (mm/r-ev)	3.0	3.5	2.54	5.4
Revolutions per minute	15	21	106	63
Number of Threads of Hob	1	1	4	1

(Work:Z14,mm2.5, β 25°, Face width 27, SCH420, HRB80~90)

※ anticipate

공구용 HSS재료인 경우 Cutting speed는 피복( Coating)을 안한 것이 70 m/min 이던 것이 지금은 122 m/min (코오팅 한것)로 효율이 상승되고 있다. 초경의 경우는 250 m/min로 월등히 좋다.

#### 4) 결 론

1. 대부분의 절삭공구는 PVD법으로 만든다. 절삭공구 뿐만 아니라 소성가공공구, 내마모 부품의 제조에 PVD (Ionplating 법) 의 대처가 가능하다. 이때 특히 주의해야 할 점은 plasma parameter 이다. 구석진 부분의 침입이 어려운 점, 복잡한 형상에 대한 어려움 구멍이 깊은 재료속에 coating 가능성을 연구할 필요가 있다.

2. 밀착성에 대해서는 substrate parameter 가 중요하다. 고속도 공구강에서는 MC 炭火物의 効果가 크다.

3. Ionplating 기술은 내마모 뿐만 아니라 다른 용도에의 擴大 예를들면 내열성, 내식성 더욱이 여러가지 기능성 재료의 용도에도 살려 볼 수가 있다.

4. 내마모에서는 최종 target 는 Diamond, CBN이다. 특히 Fe系의 것을 절단하는에는 Diamond 는 문제가 있고 CBN쪽이 월등히 유리한 것으로 사료된다.