

금속표면처리

Journal of the Metal Finishing Society of Korea

Vol. 20, No. 2, June 1987

〈번 역〉

## CVD 방법으로 코우팅된 공구들의 생산과 응용\*

김 은 표

한양대학교 재료공학과

## 〈요 지〉

최근 10년간 공구의 내마모 코우팅 분야는 급속한 발전을 하여 왔다. 처음에는 초경 합금 인서트를 TiC로 단층 코우팅 하였다. 코우팅 효과를 고려함에 따라 TiC, Ti(C,N), TiN으로 코우팅 하게 되었고 또한 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 코우팅도 많이 사용하였다. 처음의 코우팅은 공정작업의 어려움으로 극히 어려웠으나, 밀링작업에 대한 코우팅은 발달하여 왔다. 그림1.은 선반가공과 밀링작업을 하기 위한 초경 합금 인서트를 공구지지대로 지지하고 코우팅 한 것이다.

코우팅의 발전은 공구 코우팅과 강의 마모부분에 코우팅 하는 것으로 많이 발전하였다. 현재 CVD방법이 코우팅에 쓰이고 있으며 저온에서 강에 코우팅 하는 작업에는 PVD방법을 도입하기에 이르렀고,

공구의 수명은 3~10배 증가하였으며 코우팅의 효과는 아래와 같이 요약된다.

1. 마찰력 감소, 열발생 감소, 절삭력 감소,
  2. 고속 절삭시 공구의 표면과 칩사이 확산 감소(코우팅은 확산 장벽으로 작용함)
  3. 깰링(galling)을 막아줌.
- 공구의 수명 연장과 여러분야에 사용하기 위한 최적의 요구 조건은 다음과 같다.
- 공구재와 접촉시 화학적 안정성
  - 내 산화성
  - 내 마모성
  - 깰링의 방지
  - 내 충격성
  - 내 열주기
  - 모재에 대한 코우팅 재의 충분한 접착성.

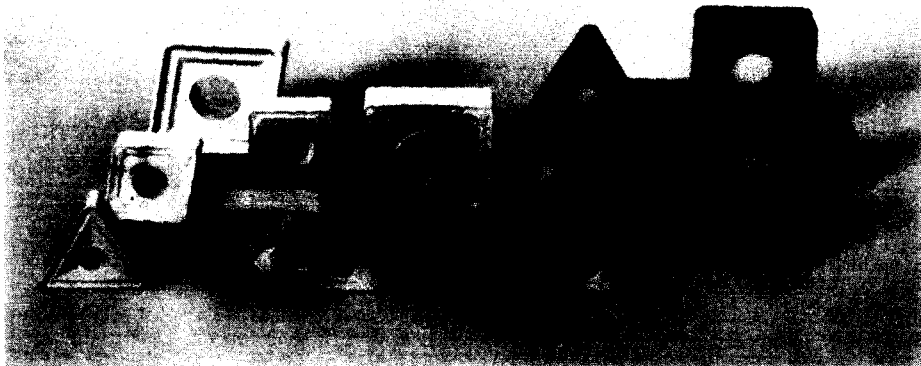


그림 1. 코우팅된 초경 합금 인서트

\* Metal Powder Report, 12(1986) 900

### 1. 초경 합금 공구들에 대한 경(硬)한 재료의 코우팅

#### 1-1. 선반 가공을 위한 코우팅된 초경 합금

1968년 코우팅된 초경합금 팁(tip)이 시장에 처음 나타났다. 이 tip은 TiC층이 2~3 $\mu$ m 정도로 코우팅 되었으나 인접부 초경합금은 취약한 탈탄 지역을 3~5 $\mu$ m형성하였다. ( $\epsilon$ -상) 이런 단점에도 불구하고 코우팅된 초경합금은 절삭작업에서 공구수명을 100% 또는 그 이상 연장시켰다. 절삭 속도도 증가되고 給送장치가 가능해 졌다. TiC 이외에도 TiN이나 HfN이 코우팅에 사용되었다. TiC 코우팅의 영향, 공구 수명 증진에 필요한 최적의 양을 연구하여 보면 단층 균질 코우팅으로는 충분하지 못하며 따라서 다층 코우팅을 해야 한다.

1973년에 다층 코우팅 한 것이 공구수명을 증가시킨다고 알려졌다. 이러한 다층 코우팅은 그림2.에서 보여주는 바와같이 TiC층에다 Ti(C,N)층 그 위에 TiN층으로 되어 있다. 공구의 수명증가는 그림3.에 도시하였는데 피삭재는 0.6% C 보통 탄소강이었다. 예를 들면 200m/min에서 코우팅 하지 않은 초경 합금 P10의 공구 수명은 3분이며 초경합금에 TiC로 2~3 $\mu$ m 그리고  $\eta$ layer로 5 $\mu$ m 코우팅한 것의 공구수명은 약 7분 정도이다. 초경합금에 그림2.의 방법으로 코우팅 한것의 수명은 약 30분이다.

후에 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>층은 TiC 혹은 TiC-Ti(C,N)층 위에 사용되었는데 1978년 균질한 초경 합금층 위에 비교적 두꺼운(10 $\mu$ m) Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>를 코우팅 한것이 등장하였고 결국 TiN층 위에 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>로 코우팅 한 것이 나타났다.

Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>층과 다른 조성으로 이루어진 층 사이의 상호작용을 도식적으로 연구한 것을 토대로 공구의 수명을 증진시키고 사용범위를 넓혀 주는 다층 세라믹 코우팅의 발전이 가능하게 되었다. 그림4-a는 현재 시판되고 있는 Sr17의 코우팅 부분 미세 사진이며 코우팅 층은 10층이다. 모재 인접부는 TiC층, 다음이 Ti(C,N)층, 다음 4개층이 중간층으로 밝은선 그 다음 4개층이 세라믹층으로 어두운선이며 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>로 구성된 것이다. 그림4-b는 파단면(중간층은

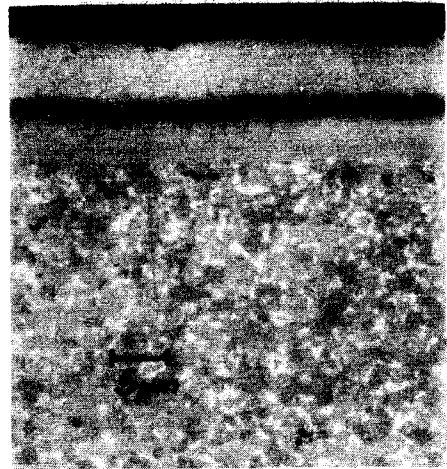


그림 2. TiC, Ti(C,N), TiN의 다층 코우팅

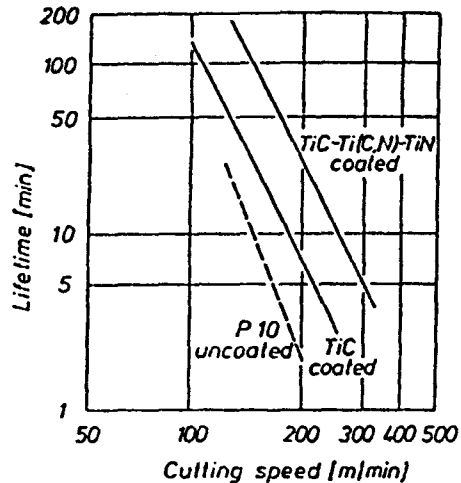
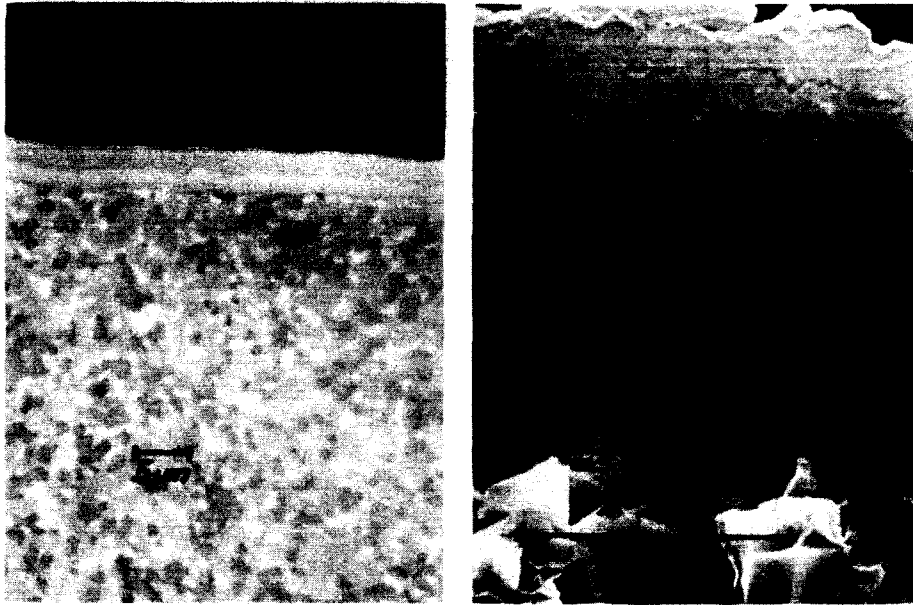


그림 3. 절삭 속도에 따른 공구 수명  
(피삭재, C60강; 인장강도 950N/mm<sup>2</sup> s=  
0.5mm/rev; a= 2mm)

검은선 세라믹층은 밝은선)의 주사 전자 현미경 사진이다.

이렇게 코우팅 된것의 내마모성을 증진시키기 위해서 세라믹층과 중간층에 특별 원소를 첨가 하는 것은 중요하다. 다음 그림5.에서는 회주철을 피삭재로 하여 공구 수명을 증진 시켜주는 것을 나타냈



a) 금속 현미경

b) 주사 전자현미경 사진

그림 4. Sr17 다층 세라믹 코우팅 된것의 파면

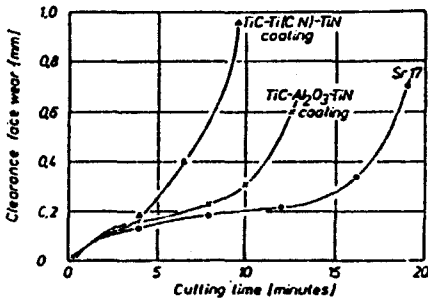


그림 5. 여러 방법으로 코우팅된 M10 초경 합금의 절삭 시간에 따른 마모 관계  
(피삭재, 회주철 막대형 170H<sub>B</sub>; v=200m/min  
s=0.41mm/rev; a=2mm)

다. 공구는 M10 초경 합금(6%Co, 5%TiC 5.5%Ta (Nb)C, WC) 이 사용되었다. 이것을 TiC-Ti(C, N)-TiN으로 두번째는 TiC-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-TiN으로 다음은 Sr17으로 각각 코우팅 하였으며 수명은 다음과 같다.

M10 TiC-Ti(C, N)-TiN 코우팅 8.5min

M10 TiC-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-TiN 코우팅 12.5min

M10 다층 세라믹 코우팅(Sr17) 19.0min  
한편 공구 수명 증가는 사용범위를 넓혀 주기도 한다.

다층 세라믹 코우팅한 Sr17은 지극히 큰 내 마모성이 있어서 경도값 54HRc인 고강도 강을 가공시에 공구수명을 증진 시켜준다. 한편 그림6.에 보는 바와 같이 기계가공에서 TiC-Ti(C, N)-TiN으로 코우팅된 공구와 10가지 요소가 코우팅된 Sr17로 각각 기계적 가공을 하였다.

역시 다른 피삭재 가공에서와 마찬가지로 지금까지 코우팅된 초경합금은 충분한 향상이 없었다. 그림4.에 보여주는 다층 세라믹 코우팅은 공구수명을 현저하게 증가 시킬수 있다. 이런 피삭재 예는 철드 혹은 주철 55HRc(부분적으로 75HRc)혹 초합금(Super alloy) 예를 들면 Inconel 등이었다.

위에서 언급한 Sr17의 공구수명은 조밀한 세라믹 재료 Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub> 혹은 Si-Al-O-N을 기본으로 하는 절삭재와 비슷하다. 그러나 Sr17의 잇점은 위의 재료에 비해 인성이 현저하게 크다는 것이다.

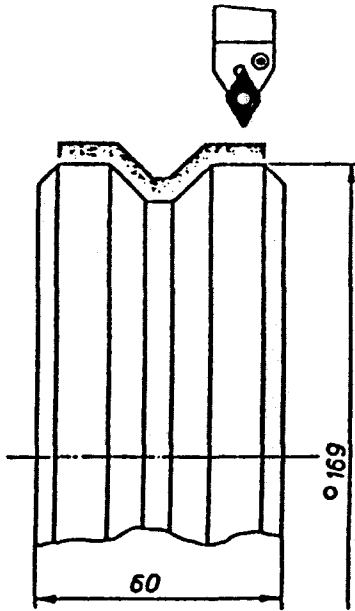


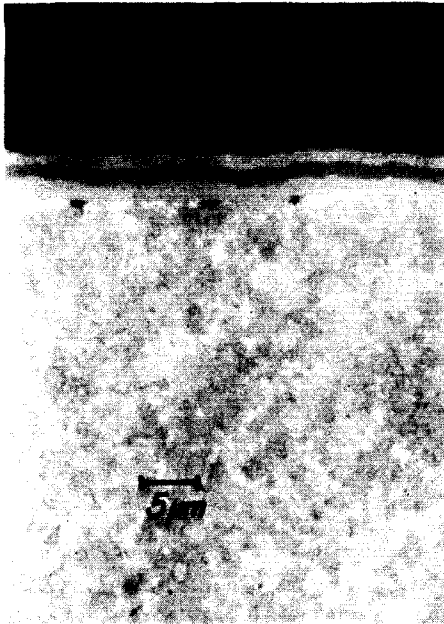
그림 6. 열간 가공된 강 of 가공부위  
(빗금친 면이 가공면)

### 1 - 2. 비절삭 성형 (Chipless forming) 을 위한 코우팅된 초경 합금.

현재 대부분의 코우팅된 초경 합금은 선반 가공에 사용된다. 금속 절삭에선 耐 crater와 측면부 내마모성이 필요하다. 밀링 작업에선 내 충격 강도와 내 열주기가 필요하다. 위에서 사용된 코우팅은 밀링 작업시 미세 조각이 발생할 경향이 있다.

밀링 작업에 적합한 코우팅은 코우팅 두께가 얇아야 하며 모재와 접착성이 아주 좋고 입자 크기가 균일해야 한다. 그림 7a)는 밀링에 적합하게 코우팅 한것의 현미경 사진이며 그림 7b)는 주사 전자 현미경 사진이다. 모재 인접부에  $1.5\mu\text{m}$  TiC층이 있고 Ti(C, N)과 TiN층이  $2\mu\text{m}$  두께로 있다.

밀링 작업에서 이렇게 코우팅 한것은 TiC 하나만으로 코우팅 한것에 비해 수명이 50%나 증가 되었는데 이는 이렇게 함으로써 耐 crater 耐충격 耐열 주기가 TiC의 다른 재료를 코우팅 하였다는 사실에 기인한다. 표1.은 이렇게 코우팅 한것으로 시험



a) 금속현미경



b) 주사 전자 현미경 사진

그림 7. 밀링 작업에서 생긴 3층 코우팅 한것의 파면

표 1. 밀링 작업에서 코우팅 된것으로 가공

작 동	그림 8에 보여진 부품의 밀링	
피 삭 재	내열강 주물 GX 40CrSi22 (재질 1.4755)	
인장강도	900N/mm <sup>2</sup>	
인 서 트	SPKN 1504 AE-T	
코 우 텅	코우팅되지 않은	코우팅된
	초경 합금	초경합금
절삭속도	120m/min	280m/min
급송속도	0.14mm/rev	0.14mm/rev
절삭깊이	1.5mm	1.5mm
공구 하나당 가공된 부품	1~2	3

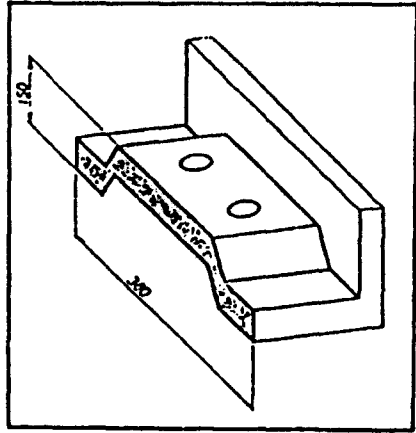


그림 8. 밀링 작업 예(옆의 검은부분이 가공면)

표 2. Sr16으로 밀링

절삭조건	
피 삭 재	합금화된 회주철
경 도	250H <sub>B</sub>
인 서 트	SNUN 120412
절삭속도	180m/min
급송속도	0.17mm/rev
절삭깊이	2~3mm
공구 하나당 가공된 부품수	
코우팅 하지 않은 硬금속	
(5.5%Co 6.5% TiC 3.2%	
Ta(Nb)C 그외 WC)	100
Sr16 코우팅된 硬금속	200

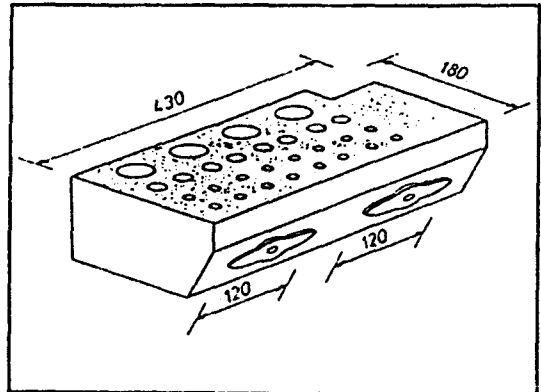


그림 9. 밀링 작업 예(실린더 헤드 옆의 검은 부분이 가공면)

하여 본 결과 공구수명 절삭속도에 2배 이상 증진을 가져 왔다.

주철 밀링이나 강한 내 마모 재질 가공시에 공구 수명 증진은 그림 4a, b)와 같은 코우팅으로 많이 개선되었으나 밀링 작업의 최적의 조건은 아니다. Sr 16은 6%Co 2.5%TiC 5.5%Ta(Nb)C, WC로 구성된 모재에 코우팅 한 것이다. 이 코우팅은 세라믹층이 미세입자로 이루어졌다는 특징이 있다. 예를

들면 그림 9.의 원통형 밀링 가공할 경우 코우팅 하지 않은것에 비하여 공구 수명이 2배 이상이다. 미세입자와 얇은층 형성으로 높은 내 마모성과 내 충격성 내 열주기 증가를 가져왔다.

경한 재질층을 이용하여 금속 절삭외에 비 절삭 성형 공구의 코우팅도 가능하다. 그림 7.에 보여지는 코우팅은 성공적이다. 그림 10.은 심축튜브 선을 뽑아내는 인발다이어이며 공구수명은 3배나 증가되었다. 대부분 코우팅된 곳을 연마하여야 하며 표면을 매끈하게 하여 결합부를 적게 하여야 한다.



그림10. 비절삭 성형을 하기 위해서 코우팅된 공구들

## 2. 코우팅 된 강 공구

### 2-1. 마모과정과 코우팅의 효과

강으로 만든 공구는 금속절삭, 비 절삭 성형등 여러 용도에 사용된다. 절삭조건을 고려하여 볼때 절삭속도와 給送속도는 고속도 공구강이 초경 합금 공구보다 낮다. 따라서 마모는 주로 깎림에 의해서 발생하며 피삭재의 종류에 따라서 연삭 마모 역시 중요한 역할을 한다. 금속 절삭시 경한 금속층의 마모가 감소되는 효과는 표3.에 나타나 있다. 절삭력은 코우팅재 구성요소에 의해 10~30%정도 감소되며 진동 또한 많이 감소시킨다. 코우팅 되지 않은 공구의 많은 진동은 깎림에 기인한 것이다. 비절삭

표3. 고속도 공구강 마모부분에 硬한 재질층의 영향

피삭재	보통 탄소강 0.7% C, 직경200mm	
인서트	SPGN 120312 EN HSS M44 TiC로 5 $\mu$ m CVD 코우팅 후 927 $^{\circ}$ C로 열처리	
절삭속도	40m/min	
급송속도	0.24mm/rev	
절삭깊이	2mm	
코우팅 되지 않은 것의 수명限	2분	
TiC가 코우팅 된것	8분후	0.07mm 표면마모

성형 특히 냉간 押出과 인발에선 마모 역시 깎림에 기인한다. 이것이 원인인 경우 수명 개선은 가능하며 더하여 연삭마모, 부식적 마모 역시 코우팅에 의해 감소된다.

### 2-2. CVD로 코우팅된 공구의 응용 가능성

CVD코우팅을 위해서는 700~1000 $^{\circ}$ C온도가 필요하다. 그러나 이 과정은 공구의 경도를 감소 시키므로 코우팅후 경화처리와 열처리를 해야 한다. 그림11.은 고속도 공구강 M35를 TiN으로 코우팅 한후 열처리 한것의 현미경 사진이며 이런 열처리는 공구의 크기와 모양 변화를 유발한다. 따라서 허용오차가 적은 공구들은 CVD코우팅 하기 어려운데 예를 들면 천공드릴, 탭, 호브 등이 이에 속하며 이런 경우는 PVD과정으로 코우팅 할수 있다.

그림12.는 공구들과 마모부분을 적당하게 CVD코우팅 한것이다. 코우팅에는 대부분 TiN이 사용되나 TiC 또는 TiC와 TiN을 기초로한 다층 코우팅도 사용한다.

CVD 코우팅 공구의 응용 가능성은 다음과 같다. 선반공구, parting, grooving을 내는 공구 성형공구 (기어 생산에 쓰이는 인서트)등으로 사용된다. 코우팅한 절삭 공구의 수명은 2~10배 증진되며 부스러

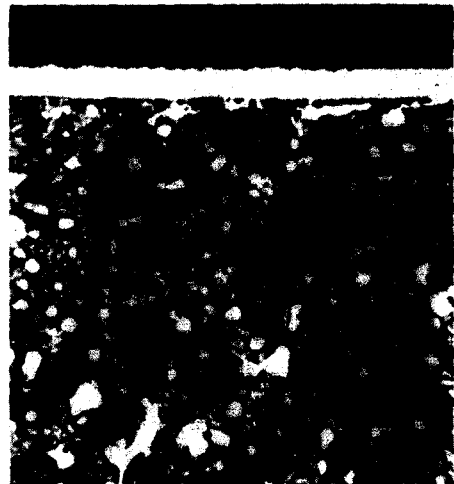


그림11. TiN으로 CVD 코우팅된 M35의 현미경사진

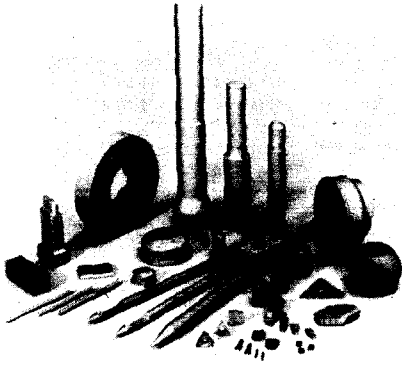


그림12. CVD코우팅에 적당한 공구와 강으로 된 마모부분

기가 잘 흐르고 모재 표면은 깨끗하다.

비 절삭 성형 분야에서 CVD코우팅 공구가 많이 사용되는데 주로 냉간 압출, 인발, 천공, 다듬질, 압인(Coining), 치형수정(profile), 나사 전조등이며 수명이 50~400% 증가하였다.

일반적으로 공구수명이란 말이 표면마모에 의한 것이라 정의된다면 코우팅된 공구의 수명증진은 성공적이다. 열간압출의 수명限은 대부분 열 주기에 의한 크랙 발생에 의하는데 이런 경우 코우팅은 수명 연장에 적은 영향만을 끼친다.

### 3. 현대 CVD(Chemical Vapor Deposition) 기술

硬한 재질층을 만들기 위하여 CVD와 PVD 방법을 쓴다. 초경 합금 코우팅에서 CVD에 요구되는 온도로는 모재 성질이 영향을 받지 않는다. 그러므로 초경 합금 코우팅은 CVD방법으로 하나 최근에는 PVD방법 역시 매우 정밀한 고속도 공구강의 코우팅에 쓰여진다.

CVD 코우팅은 기체 혼합물의 화학반응에 의하여 코우팅할 부품의 표면에 증착시키는 것이다. 그림13.은 주요 공정이다. 예를 들어 TiN이 흡착되려면  $TiCl_4, H_2, N_2$ 로 가스 혼합체가 구성되어야 한다.

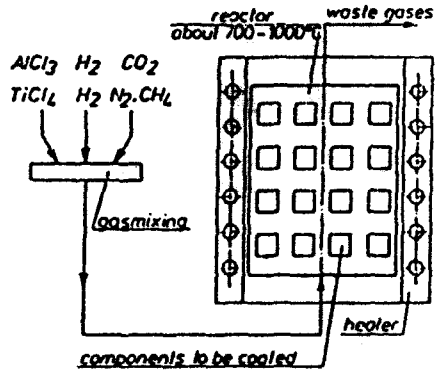
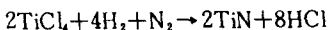
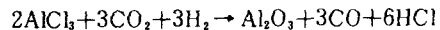


그림13. CVD 과정 원리

만일  $Al_2O_3$ 가 증착된다면  $AlCl_3, H_2, CO_2$ 로 가스혼합체로 구성되어야 한다.



증착 속도와 코우팅 조성에 영향을 끼치는 주 요소로는 온도, 가스분위기의 조성, 코우팅실에서 기체의 흐름, 코우팅 시간등이다.

CVD는 PVD에 비하여 불때 코우팅 두께를 일정하게 할수 있고 접착성이 뛰어난 잇점이 있다. 매우 복잡한 형상, 구멍, 튜브 조차도 코우팅 할수 있다. 이 과정으로 초경 합금 코우팅에 많이 쓰인다.

대량 생산을 목적으로 할때는 몇몇 장치가 요구되는데 한꺼번에 일정한 두께로 코우팅하기 위해서는 많은 구성요소가 필요하고 높은 재 생산성을 얻기 위한 장치가 필요하다. 그림14.는 위에서 언급한 조건에 맞는 고안이며 양산에 필요한 장비로 이 장비는 4개의 코우팅 챔버와 두개의 가열기로 이루어져 있다. 그림15.는 코우팅 용량이 작은 것으로 1개 혹은 2개의 챔버와 1개의 가열기이다. 코우팅 챔버의 작업반경은 360mm이고 높이는 900mm이다. 모든 조작은 자동이며 복잡한 조성의 여러층이라 하더라도 완전 자동이 가능하다. 예를 들면 위에서 언급한 코우팅도 단 한 주기에 의해 자동으로 이루어진다.

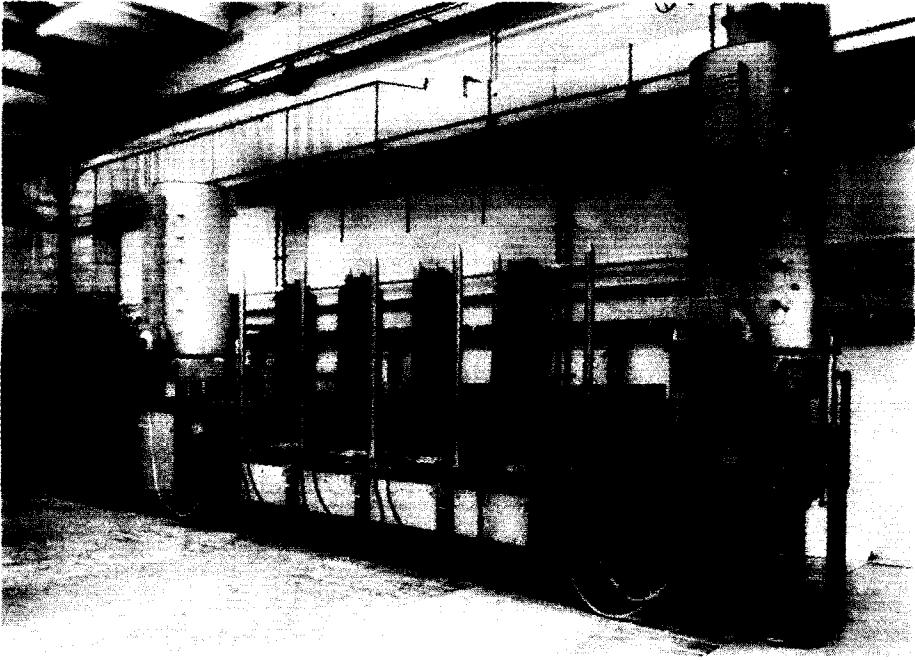


그림14. 대량 생산을 위한 CVD장치

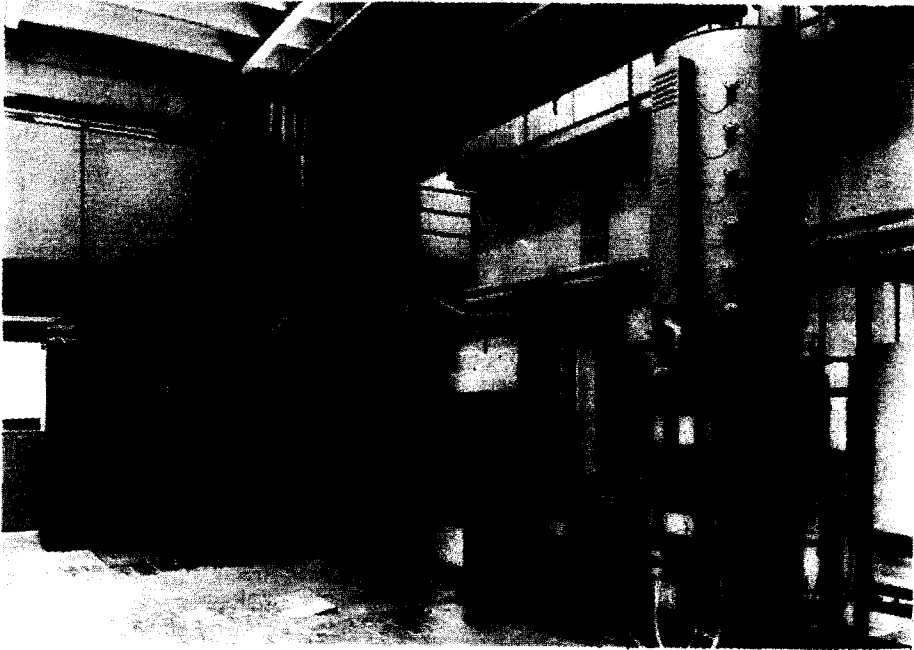


그림15. 소량 생산을 위한 CVD장치



#### 4. 요약

硬한 금속으로 코우팅 하는것은 기계분야에서 매우 중요하다. 먼저 硬 금속(코우팅재)의 얇은 층이 어떻게 공구 수명을 연장해 주는지 설명하였다. 또한 초경 합금에 코우팅한 후 오늘날 사용되는 첨가재로 4층 세라믹 다층 코우팅을 기술 하였으며 이 경우 주목할 만한 것은 공구수명 연장이다.

3층 코우팅된 강이 밀링에 적당하고 초경 합금에 코우팅 한것이 주철을 밀링하는데 적당하다고 언급

했다. 또 비절삭 성형에서 초경 합금 공구의 코우팅에 요구되는 조건이 명시되었다. 초경 합금 코우팅 외에도 강으로 만든 공구의 코우팅이 논의되었다. 마모 감소효과가 기술되고 강 공구의 CVD 응용 가능성도 언급하였다. 절삭, 비절삭 성형 공구의 코우팅 예가 언급 되었다.

마지막으로 CVD공정 설명이 있는데 이 과정은 가장 통상적이며 특히 초경 합금 공구 코우팅에 쓰이는 과정이다. 생산량에 대한 효율 문제가 고려되었고 적당한 코우팅 단계가 대략 명시되었다.