

〈기술자료〉

# 21세기 표면개질 열처리기술의 발전전망

(Surface Modification Heat Treatment : Challengers for the Next Century)

- 정리 : 부경대학교 김한군 · 정태영  
Han-Goon Kim, Tae-Young Chung

## 1. 시작하면서

지구환경이나 신소재개발이 주요관심사가 되고 있는 지금, 앞으로의 표면개질 열처리기술은 어느 정도 진보될 것인가? 미래의 기술개발 및 공업적 응용을 더욱 효과적으로 추진하기 위해서 장래의 기술동향을 정확히 예측한다는 것은 상당한 의미를 갖는다.

재료자체의 특성을 향상시키는 방법도 재료의 기계적성질 향상을 위하여 중요하지만 이들 재료 개발은 엄격한 수요자의 요구를 만족시키기 위하여 표면개질 기술을 완전히 무시하고는 생각할 수 없을 것이다. 그림 1에 장래의 표면개질 기술의 발전방향에 대하여 나타내었으며, 각각의 과제에 대

하여 대응하지 않으면 안되는 항목의 일례를 열거하였다. 장래의 표면개질기술의 발전방향은 고품질화, 소위 고성능화와 저 코스트화가 더욱 엄격히 요구될 것이며, 더구나 환경 친화성을 충분히 만족시키지 않으면 안 될 것이다.

기존재료의 고성능화, 고기능화를 위하여 여러 가지 표면개질법이 개발되어 공업적으로 사용되고 있지만 21세기에 살아 남을 수 있는 표면개질법은 대체로 어떠한 프로세스인가 하는 것은 대단히 흥미 있는 일이다. 종래의 표면개질법은 고체·액체·기체 등을 이용한 처리법이 일반적이었지만 앞으로는 자동화가 가능하며 더구나 엄격하게 제어되는 진공 플라즈마에너지를 이용한 표면개질 열처리법, 예를 들면 증착법<sup>1)~9)</sup>등이 주류를 이루게 될 것이라고 생각된다. 여기서는 표면개질 열처리기술 중에서 장래성이 특히 기대되고 주목되고 있는 증착법과 이것을 이용한 복합처리에 관하여 중점적으로 나타내고자 한다. 본 처리법은 급속히 적용범위가 확대되고 있는 새로운 분야이며 현재 이용되고 있는 다른 처리법이 점차적으로 증착법으로 대체될 것으로 생각된다.

## 2. 증착법의 특징과 사용분야

증착법이라고 불려지는 기술은 표면개질기술의 한 가지로서 모재에 목적으로 하는 기능을 추가로 부여하기 위하여 그 표면에 여러 가지의 금속이나 세라믹을 피복하는 것이다.

표면개질이라고 하는 측면에서 보면 박막공학, 표면처리 기술을 포함하여 증격, 마찰마모, 접착, 이형, 열산화 등의 요구를 단독 혹은 경우에 따라서는 이들을 동시에 조합하여 만족시킬 필요가 있다.

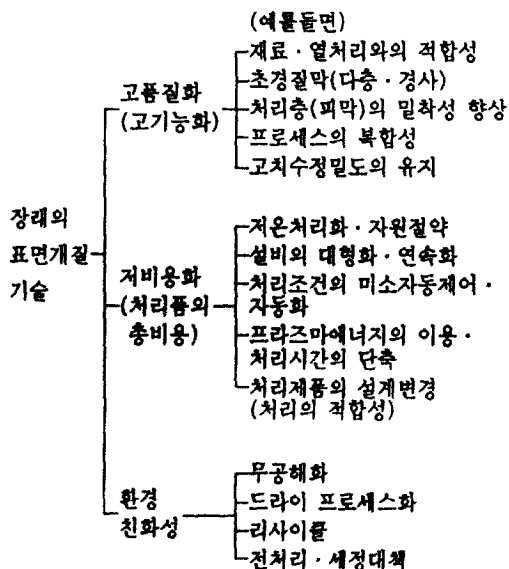


그림 1. 장래 예상되는 표면개질 열처리 기술

기재와 표면기능을 조합시키는 방법은 다양하며, 각 증착법의 특징을 충분히 파악하여 용도, 목적 등을 고려하여 적당한 선택을 하지 않으면 만족스러운 특성을 얻을 수 없다.

표 1은 공구, 금형 및 기계부품 등을 대상으로 하는 경우에 여러 가지 증착법을 서로 비교하여 나타내었으며, 표 2는 각종 증착법에 적용되는 기재물 표시하였다. CVD, 플라즈마 CVD, PVD는 각각 나름대로의 특징을 갖고 있으며 그 목적에 합당한 사용법을 선택할 필요가 있다.

CVD, PVD는 여러 가지 성능향상이나 코스트다운을 목적으로 공업적으로 폭넓게 적용되며, 또한 많은 사용실적을 갖고 있다. 그러나 플라즈마 CVD에 관해서는 연구단계에서부터 현재 일부 실용화되어 성과를 올리고 있는 제품도 있는 단계로써 PVD, CVD 처리법에 없는 특징을 갖고 있어서 장래의 발전가능성이 있는 분야라고 생각된다.

표 3은 PVD법을 이용하여 공업적으로 실용화된 코팅막의 특성 및 용도를 나타내고 있다. 각 피막의 특징을 충분히 파악한 후 코팅막을 선정해야

표 1. 각종증착법의 상호비교

처리법	원 리	복합물질	처리온도 (°C)	막생성속도 (μm/h)	막두께 (μm)	전처리	부분 처리	밀착성	막밀도	표면 거칠기	순환성	치수정밀도, 변형	응용
CVD	성분원소를 분자상으로 가스화하고 화학반응에 의해 피막을 형성시킨다	TiN, TiC, TiCN, Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , SiC(탄화규소)등의 단층, 또는 복층다중	700~1200	1~3	2~15	간단	곤란	●	○	△	●	△	실용화
플라즈마 CVD	가스상 원소플·플라즈마에 의해 분해·이온화해서 피막을 형성시킨다	TiN, TiC, TiCN, 다이아몬드, DLC(다이아몬드상 탄소), aFN(입방정질화붕소)	-600~200~	1~10	1~5	주요	가능	○	●	○	○	○ 또는 ●	연구단계에서 일부 실용화
PVD	성분물질울 증발·이온화해서 피막을 형성시킨다	주로 TiN, 그의 TiCN, CrN, TiAlN, ZrN, HfN	600	1~10	1~5	주요	가능	○	○	○	△	●	실용화

● : 상당히 좋음, ○ : 좋음, △ : 약간 부적합

사진 1. PVD 처리에 의해 얻어진 각종 피막의 파단면의 SEM사진

표 2. 각종 증착법에 적용 가능한 기지재료

처리법	적용재질
CVD	초경합금(WC-Co) 강(SKH, SKD, SUS) 세라믹(SiC, SiN <sub>4</sub> , Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 등) 탄소
P-CVD 및 PVD	강의 모든재질(SKH, SKD, SUS, Pre-harden강, 프라스틱금형용강, SCM, SNCM, SUJ, SKS, SK, SC 등) 초경합금(WC-Co) 사메트

되지만 통상적으로 범용성이 있는 TiN 막이 많이 사용되고 있다.

사진 1은 초경합금 기체에 PVD 처리에 의해서 얻어진 각종 피막 파단면에 대한 SEM 사진을 나타낸 것이다. (a)는 가장 일반적인 TiN 막이며, (b) 및 (c)는 TiCN 막의 C와 N의 농도를 변화시킨 경사막과 TiCN 단층막을 복합시킨 다층막이다. 이와 같은 막구조는 외부응력에 의한 막파괴를 지지하고 기지재료와의 밀착력을 향상시키는 수단으로 개발되어 공업적으로 광범위하게 활용되고 있다. (d)는 TiAlN의 단층막의 일례로서 Ti와 Al 농도, 막응력 등에 대한 연구개발을 이룩하여 절삭공구의 수명이 연장되고 이전보다 더욱 가혹한 절

삭조건에서도 사용이 가능하였다.

한편 CVD는 처리온도가 800~1050°C의 고온에서 실시하는 CVD가 가장 일반적이며, 모재의 표면에서 화학반응을 일으켜 증착물을 합성, 피막시킨다. 저온에서 기화된 휘발성의 금속화합물 염과 고온으로 가열된 모재와의 접촉으로 반응이 일어나고 목적으로 하는 금속화합물을 모재표면에 석출시킴으로써 필요한 피복면을 얻는다.

표 4는 CVD 처리로 증착 가능한 단층막 및 다층막의 대표적인 예를 표시한 것이다. 최근의 경향은 절삭공구는 금형에 있어서도 단층막에서 다층막으로 변화하고 있으며, 여러 가지의 특성을 동시

표 4. CVD처리로 증착 가능한 피막의 대표적인 예

단층막	*TiC
다층막	*TiN
	*TiCN
	*TiCNO
	*TiC/TiN
	*TiC/Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
	*TiC/TiCNO
	*TiC/TiCN/TiN
	*TiC/TiCNO/TiN
	*TiC/TiCN/Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
	*TiC/Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> /TiN

\*기지재료층

표 3. PVC에 의한 공업적으로 가능한 코팅피막의 특성 및 용도

막종류	색상	경도(HV)	마찰계수	내식성	내산화성	내마모성	내소착성	용도
TiN	금색	2000~2400	0.45	○	○	○	○	절삭공구, 금형, 장식품
ZrN	화이트골드	2000~2200	0.45	○	△	△	△	장식품
CrN	은백색	2000~2400	0.30	●	○	○	●	기계부품, 금형
TiC	은백색	3200~3800	0.10	△	△	●	○	절삭공구
ToCN	보라색~회색	3000~3500	0.15	△	△	●	○	절삭공구, 금형
TiAlN	보라색~흑색	2300~2500	0.45	○	●	○	○	절삭공구, 금형, 장식품
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	투명~회색	2200~2400	0.15	○	●	○	○	절연막, 기능막
DLC	회색~흑색	3000~5000	0.10	○	○	○	●	절삭공구, 기능막, 금형

에 겸비한 코팅막이 주류를 이루고 있다.

사진 2는 초경합금 기체에 CVD 처리하여 다층 코팅처리를 실시했을 때 코팅 표면과 파단면을 나타낸 것이다. 이 다층 코팅은 공구강에 적용되고 있는 대표적인 피막으로서 (a)는 코팅표면의  $Al_2O_3$  막을 나타내고 대단히 균일한 입자로서 미세하게 되어 있는 것을 알 수 있다. (b)는 코팅 파단면으로 기체에서 TiC 3.5 $\mu$ m, TiCN 1.0 $\mu$ m,  $Al_2O_3$  3.5 $\mu$ m의 다층구조로 되어 있어서 주로 내열성, 내산화성을 목적으로 하고 있다.

PVD 혹은 플라즈마 CVD 법으로 새로운 피막 개발법으로서는 ADLC(Amorphous Diamond-Like Carbon)<sup>11)~12)</sup>, 다이아몬드막, C-BN 및 여러 가지의 산화막, 예를 들면  $Al_2O_3$ ,  $TiO_2$  등이 주로 주목되고 있는 방법이며 일부는 실용화 단계에 있고 앞으로 용도가 확대 될 것으로 기대된다.

### 3. 증착법과 복합표면개질처리

열처리기술 등을 여러 가지 방법과 복합시킴으로서 많은 특성을 동시에 갖는 상승효과<sup>13)~15)</sup>를 나

타낼 수 있는 것으로 알려져 옛날부터 이러한 방법이 많이 실시되고 있다. 최근 증착처리를 포함한 복합처리는 여러 가지의 가혹한 사양 조건에 견디는 것이 알려짐에 따라 관심이 집중되고 있다.

그림 2에 복합 처리의 종류와 그 적용 예를 나타내고 있으며, 공업적으로 광범위하게 사용되고 각각의 단독 처리에 의해서도 우수한 특성을 나타내고 있다. 앞으로 여러 가지 복합 표면개질처리를 사용하기 위해서는 용도, 사용목적 또는 기지재료의 재질에 따라 종합적으로 판단하지 않으면 안된다. 이러한 복합 표면개질처리를 목적별로 분류하면 다음과 같이 크게 3가지 종류로 분류할 수 있다.

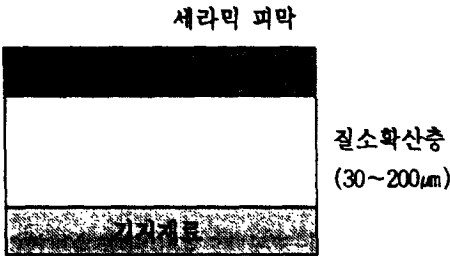
(1) 기지재료의 기계적 특성을 향상시켜 피막과의 상승효과를 얻는 프로세스.

기지재료상에 직접 경질박막을 형성하는 것보다 기지재료표면의 경도를 증가시킨 위에 피막을 형성한다. 이것은 피막의 외부 응력에 대한 변형량이 적어지기 때문에 피막이 갖는 본래의 특성을 충분히 발휘할 수 있게 된다.

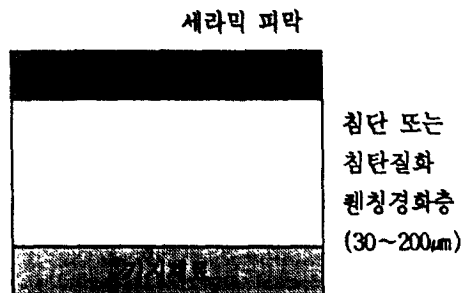
(2) 기지재료와 피막의 밀착력을 향상시키거나

사진 2. CVD처리에 의해 얻어진 기지재료 (WC-Co)/TiC/TiCN/ $Al_2O_3$  다층막의 표면 및 파단면의 SEM 사진

①기지재료의 강화

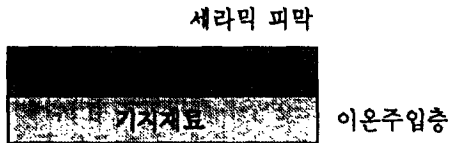


(a)질화+PVD

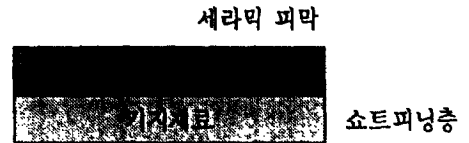


(b)침탄 또는 침탄질화+PVD

②밀착성의 향상

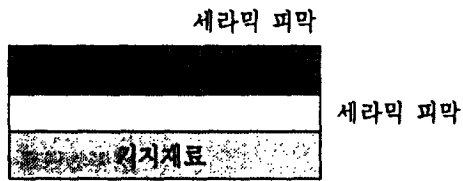


(c)이온 주입+PVD

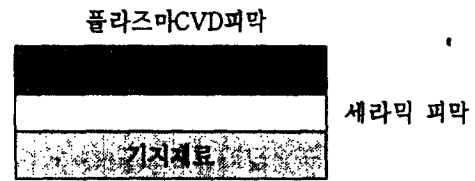


(d)쇼트피닝+PVD

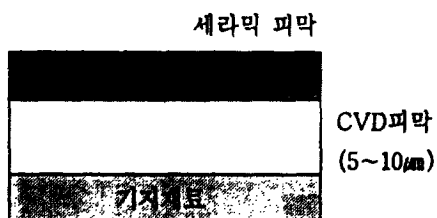
③피막특성의 향상



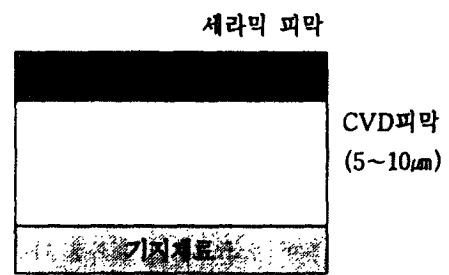
(e)PVD+스파터링



(f)PVD+플라즈마CVD



(g)CVD+PVD



(h)습식도금+PVD

그림 2. 증착법을 포함한 복합표면처리의 피막단층의 모델의 예시

안정화시키는 프로세스

기지재료와 피막의 접합, 이른바 막 계면의 문제로 생각하여 어떤 방법으로 밀착력을 향상시키고 동시에 안정화시키는가를 생각하는 처리법이다. 어느 정도 피막자체는 우수한 특성을 갖고 있을지라도 기지재료와의 밀착력이 나쁜 경우 외부에서의 응력에 따라 그 접합부에서 조기에 격리된다. 기지재료표면의 산화나 이상층의 문제를 해결하거나 피막과의 친화력을 높이는 처리법이 필요하다.

(3) 피막자체의 물리적 특성을 더욱 향상시키는 프로세스.

여러 가지의 우수한 특성을 갖는 피막을 부가시키는 처리법이다. 다층화나 후막화에 대한 막구조를 연구하여 종합적인 피막특성을 향상시킨다.

장래의 복합 표면개질처리는 여러 종류의 제품이나 부품에 대하여 사용자의 엄격한 요구에 대응할 수 있는 지극히 효과적인 방법이라고 생각된다. 복합 표면처리는 적당한 용도에 적용하여 사용하면 상품의 차별화를 이룰 수 있는 원동력이 된다. 특히 금형 및 기계부품과 관련된 분야에 있어서 21세기에는 크게 확대될 것으로 기대된다.

4. 증착법의 공업적 응용

증착법의 공업적 응용에 대하여 주로 내마모성이나 내소착성을 필요로 하는 절삭공구, 금형 및 기계부품에 사용하고 각각의 적용목적은 다르지만 결과적으로 자원·에너지 절약에 기여하게 된다. 여기서 각 적용대상품의 현재 상황에 대하여 고찰하고자 한다.

4.1 절삭공구

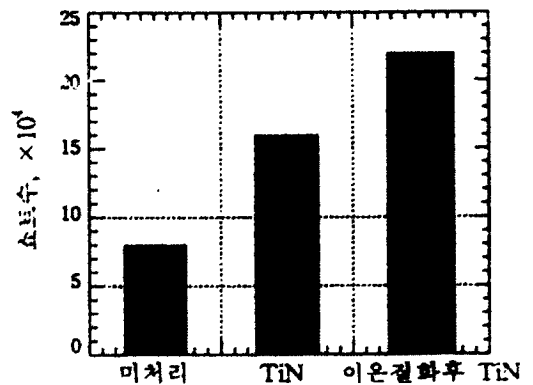
증착법으로 가장 많이 보급되어 그 효과를 나타내고 있는 것은 절삭공구로서 그 대표적인 것은 약 20년 전부터 적용되고 있는 CVD법에 의한 공구강이 그 시초이다. 또한 지금부터 10년 전까지 급속히 적용이 확대되고 있는 PVD법에 의한 드릴, 호프, 엔드밀, 칩, 리마 등도 있다. 이러한 것들

적용하는 목적은 당연히 절삭공구의 수명을 연장하는 가공 코스트를 절감시키는 것이지만 절삭 조건을 대폭 상승시키는 것을 가능하게 하였다는 사실도 잊어서는 안된다. 또한 최근에는 공구비 절약을 더욱 도모하기 위하여 이미 사용이 끝난 절삭공구를 재연마 가공한 다음 PVD 코팅을 실시하는 경우도 있다.

절삭공구에의 코팅막으로서 종래에는 TiN막이 주류를 이루고 있었지만 요즘은 새로운 막<sup>(16)~(20)</sup>, 예를 들면 TiCN, TiAlN, ADLC 등의 개발이 진전되었으며, 이러한 것을 더욱 가혹한 사용조건에서 사용될 수 있다는 것이 인정되어 응용범위가 넓어졌다.

4.2 금형

금형의 수명연장이나 품질향상 등을 목적으로 프라스틱 금형, 프레스 금형, 주조 금형 등에 증착법이 적용되어 그 효과가 실제로 인정되었다. 최근에는 증착법 사양에 적당한 금형설계를 고려하여 검토하는 시대에 들어섰다. 특히 PVD 처리법이 이러한 금형에 널리 응용되기 시작한 가장 큰 원인은 저온처리이기 때문에 높은 치수 정밀성이 얻어지며, 더구나 피막의 밀착성이 대폭 개선되었기 때문이다.



금형재질 : DC53, φ60  
 피가공재 : SUS420J2, 1.2t

그림 3. 각종 처리한 편치의 내구수명

그림 3은 편치에 PVD 처리를 적용한 경우의 내구수명을 나타낸 것이며, 이온질화후 PVD 처리에 의하여 TIN 코팅을 실시한 것이다. 그 결과 TIN 막은 미처리시의 2배, 이온질화후 TIN으로는 3배의 쇼트수가 연장되어 복합처리 효과가 아주 현저히 나타난 예이다.

#### 4.3 기계부품·기타

구동부의 수명연장이나 미끄럼성 향상을 목적으로 각종 기계부품에 적용되는 예가 증가하고 있다.

기계부품의 경우 재료의 켈칭, 템퍼링온도의 측면에서 저온으로 처리가 가능한 PVD 법이 주목되며, 그 중에서도 내소착성, 구동성이 대단히 우수한 CrN막의 수요가 증가하였다. 앞으로 자동차부품의 내마모성 및 내구동특성 등을 필요로 하는 기계부품에 많이 적용될 수 있을 것으로 기대된다.

최근에는 이전에 사용되었던 표면경화법에서 증착법으로 전환되는 케이스가 많이 있으며, 또한 다른 처리법과 조합시킨 소위 복합처리, 이를테면 침탄켈칭과 PVD를 결합시킨 것과 이온질화와 PVD 처리를 동시에 처리한 것 등이 앞으로의 표면개질의 주류를 이룰 것으로 생각된다.

#### 5. 마무리하면서

이상에서 각 증착법의 처리법, 특징 및 공업적 응용에 관하여 나타내었다.

증착법은 오늘날 심각한 경제환경 속에서 살아남을 수 있는 표면개질의 첨단기술로 주목받고 있

으며, 급속히 그 적용 예가 확대되고 있는 것이 사실이다. 1993년 12월에 "JIS H 8690" 드라이 프로세스 질화티탄 코팅규정이 제정<sup>2)</sup>되어 코팅피막의 표시방법이나 품질 및 시험방법이 규격화되었다. 이에 수반하여 앞으로 더욱 품질기준이 확립될 전망이다. 그렇지만 본 처리법은 아직 기술적으로 해결해야 할 과제가 많이 있는데, 예를 들면 피막의 평가법, 전처리·후처리 및 저온화 처리기술의 개발 등과 같은 과제가 여전히 해결해야 할 문제로 남아있다.

앞으로도 처리기술의 개발이 계속 진행될 것이며 증착설비의 대형화, 연속화, 저온화가 해결해야 할 현실적인 문제이며, 더욱 우수한 특성을 갖는 새로운 피막의 출현이 멀지 않아 등장할 것으로 예측된다. 앞으로 코팅피막도 다양화 되어 그 용도 목적에 따라 사용법이 적재적소, 소위 적절하게 구별되어 쓰여지는 시대가 등장할 것이다.

끝으로 오늘날과 같은 풍부한 정보화사회에서 과대 평가된 데이터나 신뢰성이 낮은 정보를 충분히 검토하지 않고 공업적으로 바로 적용함으로 인하여 기대되는 성과가 충분히 얻어지지 않는 경우가 간혹 있다. 또한 처리법을 잘못 선택하여 결과적으로 개선이나 개발이 대폭 지연됨으로써 상품이 기업경쟁에 부담이 되고 있는 경우도 있다.

지금이야말로 앞으로 표면개질처리의 장래동향을 냉철히 판단하여 그 방향을 현명하게 설정함으로써 21세기에 생존할 수 있는 기회를 놓치지 않을 수 있는 중요한 시점이 아닌가 생각된다.