

새로운 열처리 기술(2)

이케나가 마사루(池永 勝)

일본 이바라기 대학 공학부 겸임교수

번역 : 박연서, 정인상

경북대학교 공과대학 금속공학과

Recent Technologies in Heat treatment

Ikenaga Masaru

Faculty of Engineering, Ibaraki University, Japan

Translation : Yon-Seo Park and In-Sang Chung

Dept. of Metallurgical Engineering, Kyungpook National University

이 자료는 일본금속press공업출판회에서 발간한 “これからの熱処理技術” <工學博士 池永勝著>을 저자의 허락을 얻어 번역한 것으로 다음과 같은 차례로 6회에 걸쳐 연재하는 두 번째 것이다. 이 책이 발간되고 벌써 10 여년이 지났기 때문에 시대에 맞지 않는 부분도 약간 있을 것이나 새로운 열처리 기술의 대체적인 흐름은 감지할 수 있을 것으로 판단된다. 차례: 1) 표면경화법의 전망, 2) 연질화와 복합열처리, 3) 진공열처리, 4) 화학열처리, 5) 플라즈마열처리, 6) 레이저 열처리, 7) 질소를 이용한 열처리, 8) 플라즈마 열처리 9) 이온 주입, 10) 금형 표면열처리와 피복, 11) 각종 데이터

3. 진공열처리

진공열처리는 1949년 미국에서 처음으로 공업적으로 응용되어, 항공, 우주산업과 전자기 산업처럼 열처리 후 표면상태가 아주 양호함이 요구되는 부품에 적합하여 급속하게 발전되었다. 지금은 이와같은 특수한 분야만이 아니라 모든 분야에 널리 이용되는 기술이 되었으며, 일본이나 한국에서도 이 열처리만 전문으로 하는 업체가 늘고 있다.

금속 부품을 열처리하면 산화, 탈탄, 침탄 및 질화 등 표면의 성질과 상태가 나빠지는 것을 저지하기 위하여 이전에는 주로 분위기 가스, 또는 용융염을 사용하였다. 그러나, 고온으로 가열된 상태에서 금속과 가스 또는 염욕과의 반응을 방지하고 중성으로 유지하는 일이 아주 힘들었다. 아르곤(Ar)이나 헬륨(He) 등 금속과 반응하지 않는 불활성 가스를 사용하면 그 목적을 달성할 수는 있으나 경비가 많이 먹히는 까닭에 경제적이지 못하여 거의 불가능에 가깝다. 그러나 진공은 금속이 반응할 가스가 없는 까닭에 불활성 분위기로써 이상적이며, 열처리 후의 표면 상태가 아주 양호하여 광택이 나며, 마무리 가공도 필요 없는 부품이 얻어질 수 있다.

그림 3-1은 대표적인 진공열처리의 적용 분야를 나타낸 것이다. 앞으로도 새로운 형태의 진공로가 개발되어 이러한 적용 범위는 계속 확대될 것으로 예상된다.

3-1. 진공열처리의 특징

3-1-1. 광휘열처리

금속을 대기 중에서 가열하면, 공기중의 산소, 수증기 등에 의해 표면이 산화작용을 하여 산화물을 만든다. 각종 분위기 가스나 불활성가스 분위기에서 가열하면 좋겠지만, 이 때도 사용한 가스의 조성이나 순도가 문제가 된다. 진공으로 할 때, 1 ppm의 불순물가스가 잔존해 있는 진공압력은 10^3 Torr에 상당한다. 따라서



그림 3-1. 진공열처리의 대표적인 적용 예

현재의 진공기술을 이용한다면 10^3 Torr의 진공을 만드는 것은 비교적 쉽고 또한 싼 가격으로 얻을 수 있다. 보통 진공열처리에서는 산화되기 쉬운 금속에도 광휘열처리를 할 수 있고, 감압 하에서 가열함으로써 금속표면의 스케일도 자동으로 제거되고, 게다가 탈가스 작용이 일어나는 효과도 있다.

3-1-2. 열처리 변형의 감소

진공열처리를 시행한 부품에서는 변형(뒤틀림이나 치수변화)이 특히 작다고 보고되고 있다. 그 예를 그림 3-2에 나타냈다.

이 자료는 다이스 강(SKD 61) 금형을 진공, 염욕 및 분위기로에서 각각 켄칭한 경우의 변형량을 측정해서 비교한 것이다. 다른 열처리에 비해 진공열처리한 것은 변형량이 아주 작다는 것을 알 수 있다. 진공 중에서는 열의 전달이 대류나 전도현상이 없이 복사만으로 일어나기 때문에 다른 가열방법에 비해 피처리재의 가열상태가 상당히 고르게 된다. 즉, 가열 중에도 피처리재의 표면부와 중심부의 온도차가 상당히 작고, 그러므로 균일한 팽창과 수축이 생기는 것으로 추정된다.

3-1-3. 열처리후 가공의 생략

진공열처리한 것은 표면의 광휘성이 보존되고, 변형도 꽤 작기 때문에 열처리후의 후가공량을 대폭 줄일 수가 있고, 경우에 따라서는 전연 후가공이 필요로 하지 않고, 진공열처리 한 채로 사용하는 경우도 자주 있다.

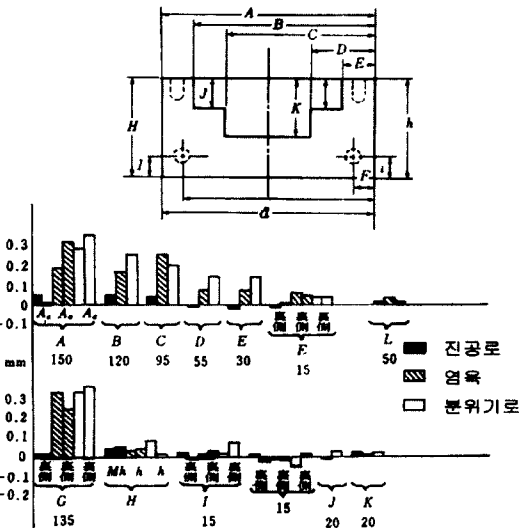


그림 3-2. 열처리 변형 측정결과와의 비교.

따라서 후가공이 없거나 줄인 열처리 공정의 단축으로 큰 폭의 경비절감으로 이어지는 장점이 있다.

3-1-4. 작업의 간소화

진공열처리 공정에서는 그 작업조건, 예를 들면 가열 온도 및 유지시간 등을 작업 전에 설정해 둔다면 자동화가 가능하다. 종래의 다른 열처리 공정에서는 작업자의 숙련도에 의해 품질의 격차가 나올 수가 있지만, 진공열처리에서는 그 열처리조건을 미리 설정해 자동화 및 일정화가 이루어지기 때문에 동일 롯트 내에서는 품질의 불균일이 작게 된다. 특히 작업환경이 양호하고, 공해대책, 안전대책 등의 면에서도 큰 이점이 있다.

3-2. 노의 구조

그림 3-3에는 단실 가압가스 횡형 진공로의 가장 표준적인 단면을 그림으로 나타내었다. 일반적으로 진공열처리용 냉각가스로서는 수소, 헬륨, 질소, 아르곤 등이 사용된다. 안전성과 가격 면에서 질소가 통상 사용되고 있다. 그림 3-4는 가스 냉각형 진공로의 대표적인 예를 나타내었다.

그림 3-5는 2실 가스냉각 부유소입진공로의 단면이다. 이 진공로는 가열실이 열 차단 및 진공 차단 2개의 문에 의해 완전히 구분되어 있으므로, 가열실은 아주 깨끗하고, 히타의 성능 열화도 없다. 그림 3-6은 단실 초가압 가스냉각 횡형 진공로의 단면 그림을 나타내었다.

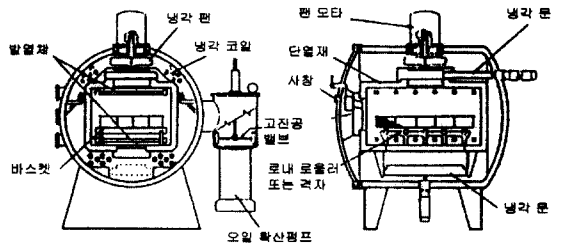


그림 3-3. 단실 가스 냉각시 횡형 진공로.

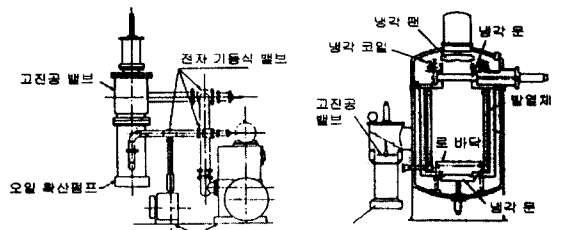


그림 3-4. 가스 냉각 중형 진공로.

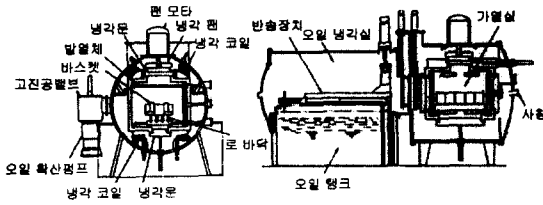


그림 3-5. 2실 가스냉각 부유 퀘칭 진공로.

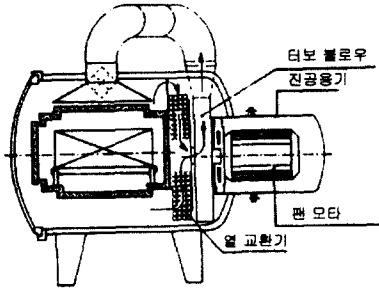


그림 3-6. 단실 초가압 가스냉각 횡형 진공로.

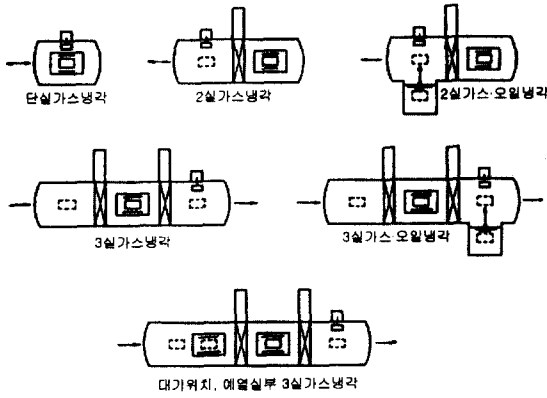


그림 3-7. 진공열처리의 형식.

다. 두께가 두꺼운 고속도강의 냉각에는 최적 1~6 bar 까지 가압 냉각이 자유로이 선택될 수 있도록 되어 있고, 가장 새로운 타입의 로에서는 터보송풍장치까지 사용하여 균일한 퀘칭을 가능하도록 되어있다.

그림 3-7은 진공열처리의 종류를 모식적으로 나타낸 것이고, 3실로 되어있는 노는 연속적인 처리가 가능하고, 다량생산에 적용하고 있는 것으로 생각된다. 노의 선택은 각 사용목적에 따라 나름대로 검토할 필요가 있다.

3-3. 각종 열처리

3-3-1. 진공 퀘칭

강의 퀘칭은 급속냉각이 필요한 경우가 대부분이다.

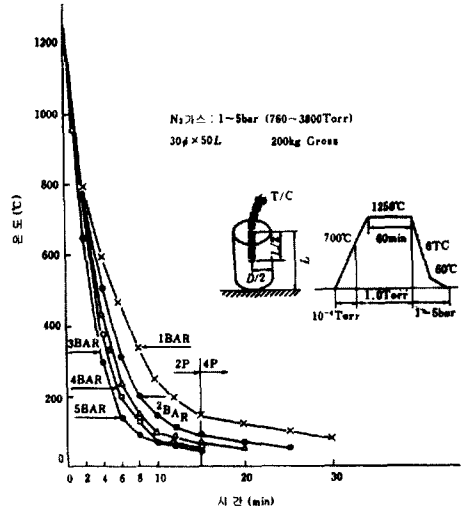


그림 3-8. 초고속 가스 냉각 진공로에 의한 가스압력과 냉각 속도.

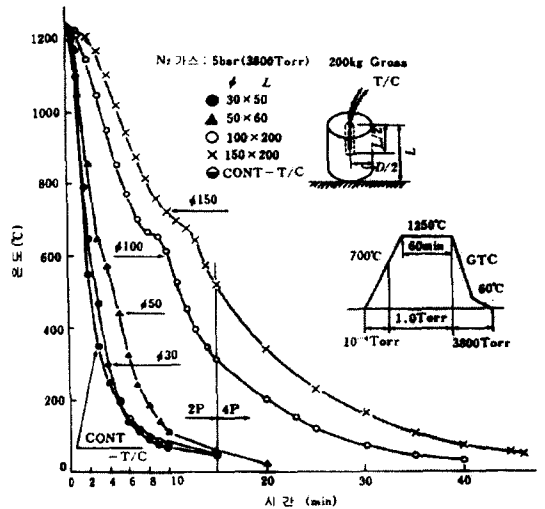


그림 3-9. 초고속 가스냉각 진공로에 의한 각종 두께와 냉각 속도.

전술한 그림 3-6의 초고속 가스냉각방식의 개발은 이 문제를 해결한 것이라 말할 수 있다. 통상 진공로를 이용해서 퀘칭하는 강종은 고급강, 이른바 고탄합금이 많고, 이 중에도 고속도강이 반 이상을 차지하고 있다. 종래 고속도강은 대체로 염욕로가 이용되는 경우가 많았지만 앞으로는 진공로 사용으로의 이행이 가속될 것으로 예상된다. 그림 3-8은 초고속 가스냉각을 이용한 경우의 각종 냉각가스 압력과 냉각속도의 관계를, 또 그림 3-9는 각종 후막과 냉각속도의 관계를 나타낸 것

표 3-1. SKH 51의 퀴칭, 템퍼링 후의 표면경도

노내 압력	측정면	시험편 $\phi 20 \times 20$ L	$\phi 40 \times 40$ L	$\phi 60 \times 60$ L
1 bar	Top	HRC 65.4 65.5 65.4	65 64.7 64.7	63.0 63.4 63.6
	Bot	65.5 65.5 65.5	65 65 65	63.4 63.0 63.0
2 bar	Top	66 65.6 66	65.5 65.5 65.5	64 64 64
	Bot	66 66.4 66	65.5 65.5 65.5	64 64 63.7
3 bar	Top	65.7 66 65.8	65.5 65.5 65.4	64.6 64.5 65.4
	Bot	65.8 66.1 65.7	65.5 65.4 65.5	64.6 64.3 64.4
4 bar	Top	65.5 65.7 65.7	65.3 65.3 65.4	64.3 64.5 64.6
	Bot	65.6 65.5 65.6	65.5 65.3 65.3	65 64.4 64.7
5 bar	Top	65.7 65.5 65.6	65.3 65.5 65.3	64.5 64.5 65
	Bot	65.6 65.5 65.5	65.5 65.3 65.5	64.5 64.7 64.5

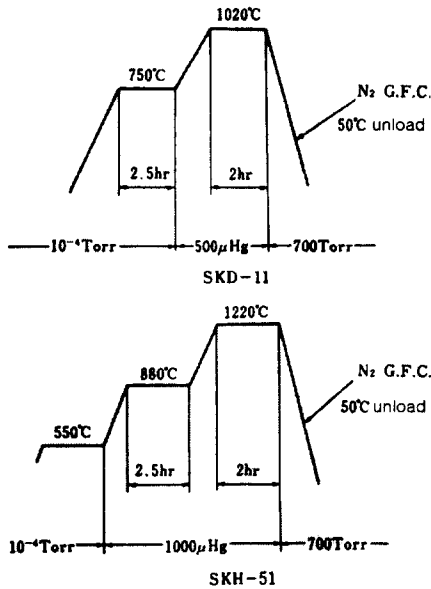


그림 3-10. 진공 퀴칭 열사이클의 예.

이다. 표 3-1은 그 때의 표면경도를 측정한 결과이다.

그림 3-10은 합금공구강(SKD 11)과 고속도강(SKD 51)의 진공로에 의한 퀴칭 열사이클의 대표적인 예를 나타내고 있다. 그림 3-11은 다른 압력하에서 직경 25 mm, 길이 48 mm의 고속도강의 중심부의 냉각속도를 나타내었다. 그림 3-12는 VTC-324R 진공로에서 100 kg (net)의 고속도강을 5 bar의 가압냉각한 때의 크기가 다른 봉재의 냉각곡선과 520°C에서 2시간 이중 템퍼링 후의 표면과 중심부의 경도를 나타낸다. 조직적으로는 입계 탄화물의 석출은 방지되고 있으며 또한 80 mm 직경

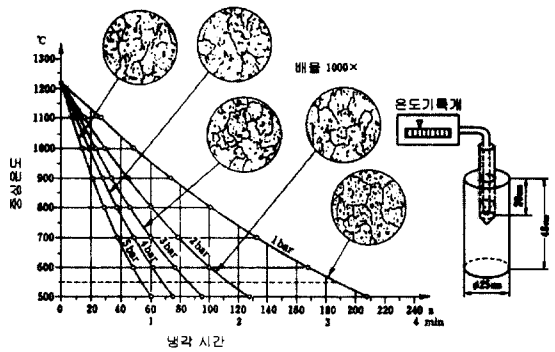


그림 3-11. VTC-324에 의한 고속도강의 냉각속도. (1개 시편의 경우)

시편 길이 : 100mm
 재질 : SKH-51
 정량봉(net) : 100kg
 냉각가스압력 : 5 bar-N₂ (73psi)

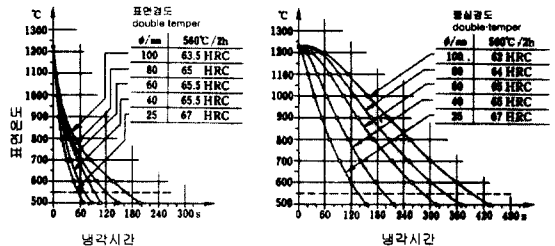


그림 3-12. VTC-324R에 의한 고속도강의 여러가지 두께의 냉각속도와 표면 및 중심온도.

의 시편까지 최고의 경도가 얻어지는 것을 볼 수 있다.

또한 상기 자료는 표면적이 최소인 봉재를 이용해서 시험한 것이지만 실제 부품의 경우는 냉각속도가 더 빠르다고 생각된다. 더욱이 추가시험으로 유냉 공구강을 5

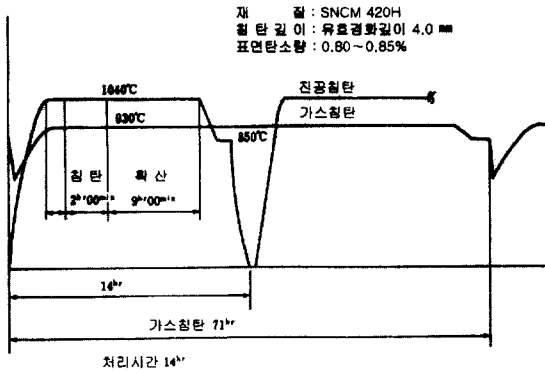


그림 3-13. 가스침탄과 비교한 진공침탄 사이클.

bar로 시험한 결과를 보면 40 mm까지 경화된 것을 알 수 있다.

3-3-2. 진공침탄

진공침탄법은 진공열처리를 이용한 가스침탄법의 일종으로, 피처리재를 진공 중에서 가열하여 표면을 깨끗하게(청정화시킨) 한 다음, 메탄, 프로판 등의 침탄 가스를 노 안으로 불어 넣어 감압하에서 표면에 침탄하는 방법이다. 그림 3-13은 가스침탄과 비교한 진공침탄 사이클의 한 예를 나타내었다. 진공침탄법은 종래의 가스침탄법과 비교해서, 다음과 같은 특징을 갖는다.

- (1) 1040°C 이상의 고온에서 침탄할 수 있기 때문에 처리시간이 대폭 줄어든다.
- (2) 표면 탄소농도와 침탄 깊이의 제어는 시간 설정으로만 가능하게 할 수 있다.
- (3) 침탄분위기 중에 O₂와 H₂O를 포함하지 않기 때문에 가스 침탄공정에서 일반적으로 일어나는 입계산화가 일어나지 않는다. 따라서 피처리재의 피로강도가 향상된다.
- (4) 침탄가스 소비량이 적다.
- (5) 스테인리스 강에도 적용할 수 있다.

표 3-2. 일정 침탄깊이를 얻기위한 온도와 시간(hr)의 관계.

침탄온도 (°C)	900°C	930°C	980°C	1,010°C	1,040°C
전침탄 깊이 (mm)					
0.5	0.9	0.6	0.3	0.35	0.2
1.0	3.5	2.5	1.25	1.00	0.8
1.5	8.0	5.5	3.0	2.25	1.7
2.0	14.0	10.0	5.5	4.0	3.0
3.0	31.3	23.0	12.0	9.0	6.5

표 3-2에는 각종 침탄 깊이를 얻기 위한 처리온도와 처리시간의 관계를 나타내었다. 침탄시간과 확산시간의 설정은 Harris의 이론치에 가까운 값에서 하면 된다. Harris의 실험식에 의하면, 침탄시간(T_c)와 확산시간(T_D)의 관계는

$$T_c = t \times \left(\frac{C_1 - C_0}{C_2 - C_0} \right)^2$$

이다.

여기서 t: 전체 침탄시간, T_c: 침탄시간, C₁: 확산후의 표면탄소량, C₂: 침탄후의 표면탄소량, C₀: 소재의 탄소량이다.

온도를 1040°C, C₁ = 0.80 %C, C₂ = 1.73%C, C₀ = 0.20%C로 하면

$$T_c = 0.154T, TD/T_c = 5.5 \tag{1}$$

이 된다.

온도를 1040°C, C₁ = 1.00%C로 하는 경우는

$$T_c = 0.273T, TD/T_c = 2.7 \tag{2}$$

가 된다.

표 3-2에 나타난 열 사이클은 SCM 420 H에 표면탄소량 0.8%, E.C.D 1.1 mm로 침탄한 것이지만, 이 경우의 침탄가스 공급시간과 확산시간의 세트의 방법을 설명한다. 즉, D = K√t 의 식에 의해, E.C.D 1.1 mm을 얻기 위해서는, 침탄가스공급 시간과 확산시간의 합계가 60분이 되어야 한다. 이것을 (1)식에 대입하면 침탄가스공급을 9분, 진공확산을 51분으로 한다면 틀림없이 표면탄소량 0.8%로 E.C.D 1.1 mm가 얻어진다.

그림 3-14는 SNCM 420 H, 표면탄소량 0.80%~0.85%, E.C.D 4 mm의 경우의 사이클을 나타낸 것으로, 이 경우의 가스 공급시간과 확산시간을 같은 방법으로 계산하면, 전체 침탄시간 11시간, 침탄가스 공급시간이 2시간, 진공확산이 9시간이 되고, 피처리재의 표면 탄소량과 침탄깊이는 상당히 정확하고 쉽게 얻을 수 있

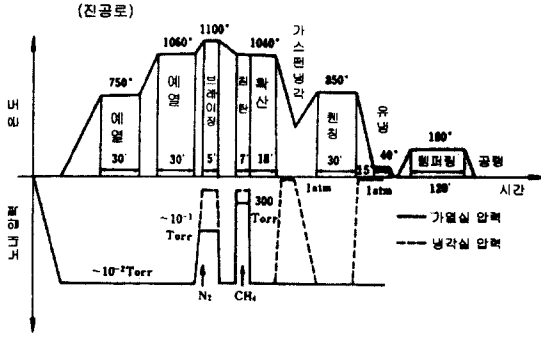


그림 3-14. 진공로를 이용한 브레이징-침탄-퀵칭선도(모식도)

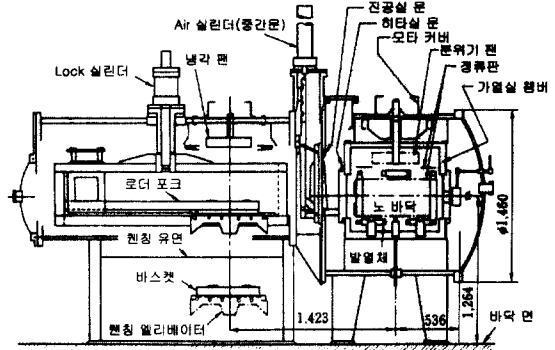


그림 3-15. 진공 침탄로의 단면도.

다. 그림 3-15에는 진공 침탄로의 표준 치수와 단면 그림을 예시하여 나타내었다.

감압한 상태로 고온의 진공 침탄로에 일정량의 CH₄를 투입하고 방치하면, CH₄는 시간의 경과와 함께 그 대부분이 분해한다. 또한 가스의 분해 속도도 피처리물의 장입량에 따라서 변한다. 따라서 피처리물로의 침탄이 진행되는 과정에서, 피처리물의 표면 탄소농도를 항상 일정하게 유지하고, 또한 스텝의 발생을 방지할 수 있도록 노내에 CH₄ 가스를 투입 할 필요가 있다. 이렇게 하기 위해서는 노내 잔류 CH₄ 농도와 노의 내압을 일정 범위로 유지할 필요가 있다. 이상의 노내 조건을 만족시키기 위해서는 CH₄를 투입하고 항상 노내 잔류 CH₄ 농도를 일정하게 유지하기 위해 노내 혼합가스를 배출시켜 노의 내압 상승을 방지하지 않으면 안된다. 이 진공침탄 설비는 공급밸브를 가진 첨가가스 공급계와 배기밸브를 가진 배기계를 접속하고 또한 노내 압력검출 장치와 특별히 설계한 분석장치를 이용한 노내 분위기 가스 농도 검출수단이 설계되어 있으며, 노내 압력검출 수단에 의해 배기 밸브를, 노내 분위기 가스 농도 검출수단에 의해 공급밸브를 각각 개폐시켜, 노내 분위기를 조절함으로써 노내 분위기를 가스의 농도 및 압력을 항상 침탄에 적당한 조건으로 연속적으로 제어할 수 있는 장치이다.

또한 노내 벽에서 약간 떨어지게 비침탄성의 칸막이를 배열해서 순환로를 형성하고, 또한 그 내부에 비침탄성의 fan을 만들어서 노내 분위기를 강제적으로 순환시켜 피처리물에 노내 분위기를 균일하게 분산시켜 침탄하도록 하고 있다.

3-3-3. 브레이징

진공열처리에서는 앞에서 예로 든 각종 처리를 필요에 따라서 조합하고, 연속적으로 수행할 수도 있다. 그 일례로써 브레이징, 침탄, 퀵칭의 연속처리가 있다[16].

그림 3-15에는 그 경우의 온도 및 압력 사이클의 예를 나타내었다. 브레이징 온도는 사용하는 납땀재의 용점에 따라서 설정되고, 침탄온도는 보통 1040°C가 채용되고, 2회 퀵칭된다. 납땀재는 많은 종류가 있지만 진공침탄과 조합해서 이용하는 경우는 1040°C이라는 침탄온도와 관계에서 용점이 높은 동납을 이용하는 것이 많다. 동납의 용점은 1083°C이고 가격이 싸고 플럭스가 필요 없으며, 유동성이 크다는 등의 특징을 가지고, 선, 코일, 심, 페이스트 등의 여러 가지 형으로 공급되고, 용도에 따라 사용될 수 있다.

3-3-4. 진공소결

과거 10년간 진공소결 기술이 아주 눈부시게 발전하였다. 진공은 분위기가 대단히 순수하고, 또한 진공실 이외에서는 소결될 수 없는 특수금속으로 되어 있으며, 노의 크기도 줄어들었으며, 아주 미세한 분말도 사용 가능하다는 등의 이점이 있다. 실제로 산소 및 수소에 대한 반응성이 아주 큰 내화재료인, 3.52 g/cm³의 밀도인 티타늄은 1200°C에서 4 hr, 10⁻⁵Torr로 진공 소결하여 porosity 9.5%인 것을 얻을 수 있었다.

니오븀 분말은 0.5%의 산소를 함유하고 있기 때문에 아주 취약하지만, 진공소결하면 취성이 나타나지 않게 된다. 텅스텐카바이드(WC)와 코발트로 된 공구는 1480°C에서 소결되는데, 코발트의 증발을 방지하기 위해 5 × 10⁻⁵ Torr로 유지하여 소결한다. 진공소결한 스테인리스강은 수소기스와 암모니아, 크랙 가스 분위기에서 소결한 것에 비해 염수 분위기 테스트 결과가 양호하였다.

또한 항복점과 확장력은 감소하였지만 연신율이 현저히 향상되었다. AISI 410, 420, 303 스테인리스강도 진공 소결이 실용화되고 있다. 현재에는 고속도강의 hub-reamer의 진공소결도 하고 있다.

3-4. 앞으로의 동향

이상과 같이 진공열처리의 용도, 특징을 중심으로 기술했지만, 다른 열처리에는 이런 장점을 겸비하고 있는 것은 없는 것 같다. 그러나, 반면에 실용화된지 오래지 않고, 여러 가지 기술적인 측면에서 해명이 되지 않은 것도 많고 해서 앞으로도 많은 연구가 기대된다. 진공로의 장점으로는 안전하며 공해가 없으며, 고온이며 압력범위도 크기 때문에, 에너지가 절감되고 특히 제어가 용이한 장점을 살려서 금속의 열처리 뿐만이 아니라, 세라믹, 탄소섬유 등의 신소재분야 처리에 까지 폭넓게 파고 들어 앞으로의 비약적인 발전이 한층 기대될 것으로 판단된다.

참고문헌

1. 山中久彦: 第35回工具鋼技術研究會, 11(1973), p. 1.
2. アルノバウエル: 鑄鍛造と熱處理, 442(1984)9, p. 33.
3. 池永 勝: プレススール, 14(1985)175, p. 37.
4. IHI-Ipsen社: 技術資料
5. Japan Hayes社: 技術資料
6. 加藤岳雄, 河原芳明: 特殊鋼, 33(1984)9, p. 8.
7. 山中久彦: 特殊鋼, 22(1973)4, p. 15.
8. 中村勝郎: 特殊鋼, 33(1984)9, p. 21.
9. 山中久彦, 寺内八郎: 金屬材料, 13(1973)9, p. 40.
10. 苧野岳衛: 金屬, 6(1981), p. 49.
11. 岡崎章三, 長谷川潔: 日本機械學會關西支部第4回特別講習會資料 7(1981), p. 17.
12. 杉山道生, 岩田均: 池永 勝: 特殊鋼, 32(1983)9, p. 13.
13. 山田俊宏: 波多野和好: 熱處理, 22(1982)3, p. 141.
14. 淺見克敏: 熱處理, 22(1982)3, p.147
15. 西山幸夫, 苧野岳衛: 熱處理, 22(1982)3, p. 168.
16. 苧野岳衛, 中村敏則: 熱處理, 23(1983)5, p. 290.

《기술감작》

4. 화학적 증착법 (CVD)

CVD란, Chemical Vapor Deposition의 약자로, 기상에 서 고상을 석출하는 과정에서 화학반응이 있으므로, 진공증착 등의 물리적 증착(PVD: Physical Vapor Deposition)과 구별하여 제안된 약칭이다. 이 기술은 산화물, 탄화물, 질화물, 붕화물 등 광범위의 물질을 석출시킬 수가 있고, 최근 주목을 받고 있는 세라믹 코팅의 일종이라고 할 수 있다.

강과 초경합금 등에 이들의 초경질피막을 코팅해서 공구, 합금 및 기계부품 등의 수명을 연장하는 목적으로 넓은 분야에 응용되기 시작하였으며, 그 수요는 점점 증가하는 경향이다. 사진 4-1에 Berna사제 CVD장치의 외관을 나타내었다. 표 4-1은 각종 경질 피복처리법의 종류와 각각의 특질 비교를 보여주고 있다.

CVD와 PVD는 자주 비교되지만 각각의 특질을 잘 살펴 보고 그 용도와 목적에 따라 적용하는 것이 중요하다고 생각된다. 이들 코팅 물질과 기존의 각종 표면경화층의 경도를 비교해 보면, 그림 4-1과 같이 되고, CVD법에 의해 얻어진 피막의 경도가 현저히 높은 것



사진 1. CVD 장치의 외관.

을 확인할 수 있다.

그림 4-2에는 증착법의 분류를 나타내고 있지만, CVD법에도 여러 가지가 있고, 점점 더 그 처리방법도 다양화 할 것이라 예상된다. 이 장에서는 표면경화처리를 주로하는 CVD의 특성과 용도에 대해 소개한다. 플라즈마 CVD에 대해서는 플라즈마 열처리 장에서 기술한다.

4-1. 원리와 특징

4-1-1. 원리

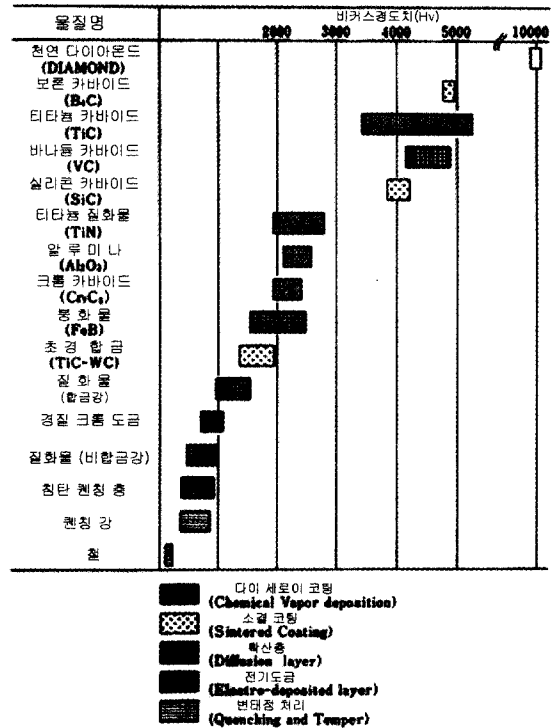


그림 4-1. 각종 경화층의 경도 비교.

표 4-1. 각종경질 피복 처리법의 비교

피복처리법	원료	피복물질	결정조직	처리조건		층두께 (μm)	밀착성	모재의 형상
				온도(°C)	시간(h)			
화학증착법 (CVD)	금속할로겐화합물, 탄화수소가스, N ₂ 등	탄화물, 질화물, 산화물, 붕화물	주상정	700 ~1,100	2~8	1~30	양호	복잡한 형상 가 미소공가
물리증착법 (PVD)	순금속 탄화수소가스 N ₂ 등	상 동	미세립 상정	400 ~600	1~3	1~10	다소간 문제있음	증발원에 대해서음 의 부분은 불가
용융염법	순금속 금속합금등의 분말	VC, NbC, Cr탄화물붕화물	등축정	800 ~1,200	1~8	1~15	양호	복잡한 형상 가

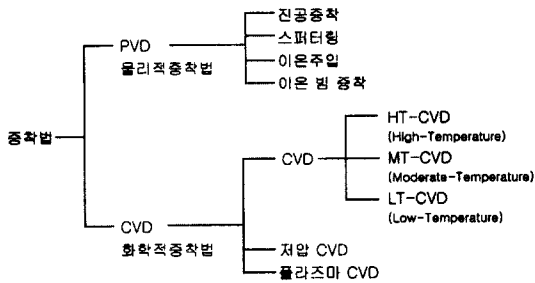
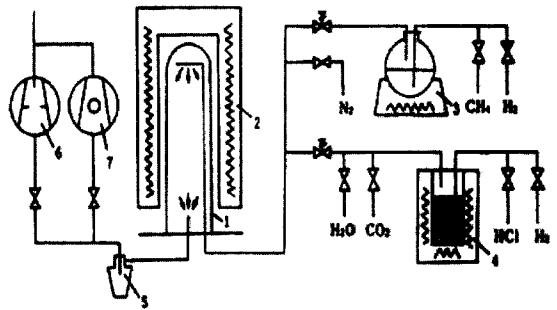


그림 4-2. 각종 기상 도금법.

그림 4-3에는 CVD 처리장치의 배치도를 나타내었다. 코팅 처리 방법은 가스상의 $TiCl_4$, H_2 , CH_4 및 N_2 등을 약 $700\sim 1050^\circ C$ 로 가열시킨 용기(레토르트)내에 공급해서, 모재표면에 $5\sim 10\mu m$ 의 초경질 화합물을 화학적 반응을 이용해 형성시키는 것이다. 표 4-2에 그 대표적인 CVD법에 의한 화학반응을 나타내었다.

그림 4-4는 $TiCl_4 + CH_4 + H_2$ 의 혼합가스로부터 TiC가 석출하는 과정을 모식적으로 나타낸 것이다. 모재와 반응가스의 흐름간에는 얇은 확산층이 존재하고 있고 그 층내를 열분해를 받는 저급탄화수소(C_xH_y) 및 수소환원을 받는 저급염화티탄($TiCl_3$, $TiCl_2$)등이 모재표면에 확산하면서 동시에 Ti-C결합을 형성하고, 결정격자내에 침



1. 반응 용기 2. 전기로 3. 기화기 4. 고체기화기
5. 사이클론 6. 회전 펌프 7. 액체 링 펌프

그림 4-3. TiC, TiN 및 Al_2O_3 용 CVD장치.

입된다고 생각된다. 부차적인 생성 가스인 HCl은 경계를 거꾸로 확산하여 폐가스로 된다.

MT(중온도)-CVD에 있어서 처리온도는 각종 철강재료에 $700\sim 900^\circ C$ 에서 CVD처리가 가능하다. 그 이점으로서, 치수 변화를 줄일 수 있는 것과 결정립의 조대화를 방지하는 것 등을 들 수 있지만 합금강과 공구강에서는 이들의 온도범위와 그 오스테나이트화 온도, 혹은 예열온도와 크게 관련이 있다.

그림 4-5에 합금강 및 공구강의 오스테나이트화 온도

표 4-2. 대표적인 CVD 반응예

피복재	반응예
TiC	$TiCl_4(g) + CH_4(g) \xrightarrow[950 \sim 1050^\circ C]{H_2} TiC(s) + 4HCl(g)$
TiN	$TiCl_4(g) + 1/2N_2(g) \xrightarrow[850 \sim 1000^\circ C]{H_2} TiN(s) + 4HCl(g)$
Ti(CN)	$TiCl_4(g) + CH_4(g) + N_2(g) \xrightarrow[900 \sim 1050^\circ C]{H_2} 2Ti(CN)(s) + 8HCl(g)$ MT-CVD $2TiCl_4(g) + R-CN \xrightarrow[700 \sim 900^\circ C]{H_2} 2Ti(CN)(s) + HCl(g) + RCl(g)$
CrC	$CrCl_2(g) + H_2(g) \xrightarrow[800 \sim 1000^\circ C]{} Cr(s) + 2HCl(g)$
Al_2O_3	$2AlCl_3(g) + 3CO_2(g) + 3H_2(g) \xrightarrow[900 \sim 1050^\circ C]{} Al_2CO_3(s) + 3CO(g) + 6HCl(g)$

MT: Moderate-Temperature. (g)가스, (s)고체

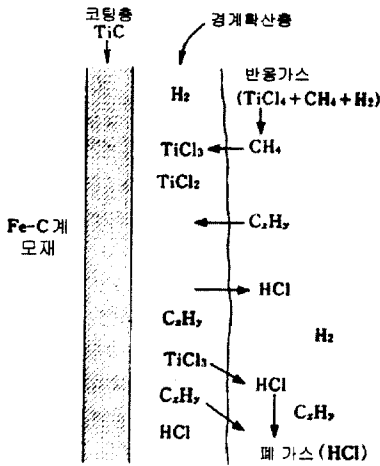


그림 4-4. CVD법에 의한 TiC 석출기구.

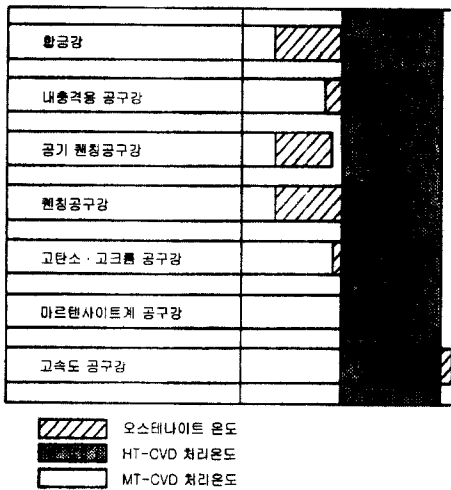


그림 4-5. 합금강, 공구강에서의 오스테나이트화 온도와 CVD 처리온도 범위의 관계.

와 CVD처리 온도의 범위를 나타내었다. 그림에 나타난 처리온도를 적당히 채택하므로써 피처리물에 목적으로 하는 기계적 성질을 부여할 수 있다. 일반적으로 열처리변형을 고려하는 경우, 급랭을 필요로 하지 않는 고탄소·고크롬 공구강, 예를 들면 SKD11 등에는 CVD처리는 상당히 조건이 좋은 표면경화법이다. 그러나 고속도공구강 등에는 CVD 처리후 소재의 경도를 상승시키기 위해 다시 켄칭/템퍼링 처리가 필요하다.

앞으로 CVD처리온도가 지금의 MT보다 더욱 저하하여, 예를 들면 고속도 공구강의 어닐링 온도 정도까지 내릴 수 있는 처리기술이 개발되면, 켄칭과 어닐링을

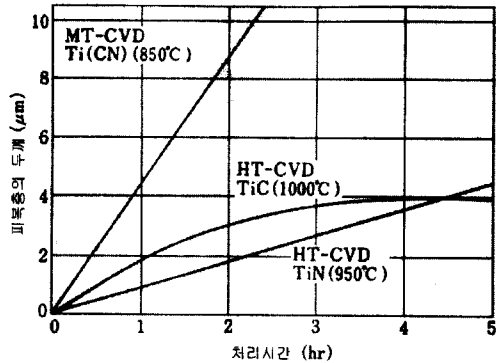


그림 4-6. MT-CVD에서 피복층의 두께와 처리시간의 관계.

겸한 CVD 처리가 가능하게 되어, 그 응용범위는 넓어질 것으로 생각된다.

그림 4-6에 공업적으로 CVD처리하는 경우의 피복층의 성장속도와 처리시간의 관계를 나타내었다. MT-CVD의 경우, 피복층의 성장속도와 소재의 종류에는 거의 영향이 없고, 층의 두께는 처리시간과 함께 직선적으로 증가하며, 그 속도는 700°C에서는 1 μm/hr, 850°C에서는 4 μm/hr 이다.

또한 그림으로부터 명백하듯이, HT-CVD에 의한 TiC와 TiN의 성장속도를 비교하면, 약 3배의 속도로 증착시킬 수가 있다. 그리고 장시간 처리하면 피복층의 두께는 점차 증가하나, 공업적으로 경제적인 관점에서는 30 μm 정도의 두께가 한도로 생각해도 좋을 것 같다.

통상 금형공구와 기계부품에 적용되는 피복층의 두께는 6~10 μm가 적당한 것으로 되어 있다. 그러나, 더욱 두꺼운 층을 필요로 하는 경우와 정도가 높은 최종 표면 마무리가 요구되어 미리 다이아몬드 페이스트를 이용해 충분히 연마해 둘 필요가 있는 경우 등에는 피복층의 성장속도가 빠른 것은 큰 이점이다.

더욱이 CVD처리의 경우, 피복층이 두꺼워질수록 피복층 속에 미소한 공극(micropore)이 없어지므로, 내식성이 향상되는 것으로 알려져 있다. 따라서 MT-CVD법은 이 목적에 대해서도 단시간에 효과를 발휘하는 것이 된다. 한편 MT-CVD법은 처리조건에 의하면 피복층의 성장 속도가 상당히 빠르기 때문에, 균일한 막 두께를 요구하는 경우에는 문제가 생기는 경우가 있다. 특히 피처리물이 복잡한 형상을 하고 있는 경우에는 움푹 파인 부위와 구멍 형태 부분에 우선적으로 증착이 진행하기 때문에 주의가 요한다. 그러나 이들 사항에도 불구하고 피복속도가 빠른 것은 바로 코스트 절감으로 이어

지기 때문에 유리할 수가 있다.

4-1-2. 코팅 피복의 성질과 그 평가법

CVD법에서 모재표면에 코팅한 초경질 합금의 종류는 다수 있지만 표 4-3에는 그 대표적인 코팅피막과 물리적 성질을 나타내었다. 코팅피막의 선택은 CVD법의 용도와 목적에 따라 상당히 중요한 요소로, 피막의 성질을 충분히 알아둘 필요가 있다.

공업적으로 코팅피막을 응용하고자 하는 경우, 중요한 것은 그 피막의 평가방법이다. 코팅피막의 평가방법은 각각의 목적에 따라 다르다. 통상 코팅피막에 있어서 평가해야만 하는 항목은 다음과 같다.

피막표면물성과 조성에 있어서는

- ① 경도측정
- ② 두께측정

- ③ 표면조도측정
 - ④ 현미경관찰
 - ⑤ 편흔 균열의 검사
 - ⑥ 결정구조의 해석 (X선회절)
 - ⑦ 색상측정
 - ⑧ X선 마이크로 어널라이저(EPMA)
- 등이 있다.

피막과 기지재의 관련성에서도 평가항목은 여러 가지이지만 내마모성을 목적으로 하는 경우는 밀착성이 가장 큰 요소인 경우가 많고, 이 평가를 어떻게 해서 판단하는가가 문제이다. 현장에서는 다이아몬드 압자에 의한 스크래치 시험평가법이 신뢰성이 높다고 한다.

세라믹 코팅피막을 응용분야에서 분류하면,

- ① 보호피막
- ② 장식성피막
- ③ 기능성피막

이 되지만, 어떤 응용분야에서도, 형성피막에 대한 체크포인트는 표면물성, 조성과 기지재와의 밀착성에 관련된 성질이다.

그림 4-7에는 Cu-K α 에 의한 증착피막의 X선 회절 결과를 나타내었다. 그림의 결과는 SKH 51이 모재이고 그 표면에 TiC, TiN 및 TiC-TiN을 각각 피복한 것이다. TiC와 TiN의 피복피막의 경우에는 양자의 회절선이 공존하고 있고, 2상이 피복된 것으로 판명된다.

그림 4-8은 SKH 51에 피복층을 피복한 경우의 시료표면 근방의 EPMA 선분석 결과를 나타내었다. (a)는 TiC를 피복한 때의 Ti 및 C의 농도분포를 나타낸다. 표면에서 약 8 μ m의 거리에 Ti와 C의 농도가 높게 되어 있

표 4-3. 초경질 화합물의 종류와 물리적 성질.

종류	탄화물		질화물
	TiC	Cr-C	TiN
물리적성질			
경도 (VHN)	3,300~4,000	1,900~2,200	1,900~2,400
용융점 (°C)	3,160	1,780	2,950
밀도 (g/mm ³)	4.92	6.68	5.43
열팽창계수 (200~400°C)/C	7.8 × 10 ⁻⁶	10.3 × 10 ⁻⁶	8.3 × 10 ⁻⁶
전기저항 (20°C) (Ω)	85	75	22
탄성율 (kg/mm ²)	4.48 × 10 ⁴	3.80 × 10 ⁴	2.56 × 10 ⁴
마찰계수 (μ)	0.25	0.79	0.49
적정피복두께 (mm)	4~8	8~12	4~8
종류	탄질화물	산화물	
	MT-TiCN	Al ₂ O ₃	
물리적성질			
경도 (VHN)	2,600~3,200	2,200~2,600	
용융점 (°C)	3,050	2,040	
밀도 (g/mm ³)	5.18	3.98	
열팽창계수 (200~400°C)/C	8.1 × 10 ⁻⁶	7.7 × 10 ⁻⁶	
전기저항 (20°C) (Ω)	50	10 ¹⁴	
탄성율 (kg/mm ²)	3.25 × 10 ⁴	3.90 × 10 ⁴	
마찰계수 (μ)	0.37	0.15	
적정피복두께 (μm)	6~20	1~3	

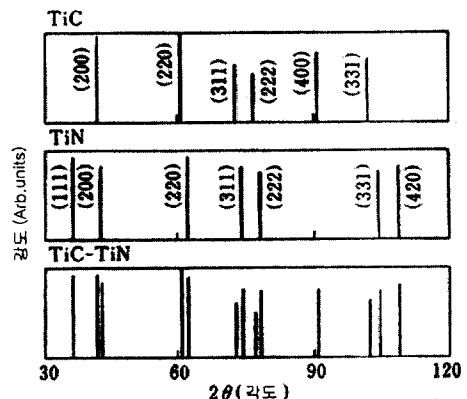


그림 4-7. SKH 51에 피복한 TiC, TiN 및 TiC-TiN의 X선 회절도형.

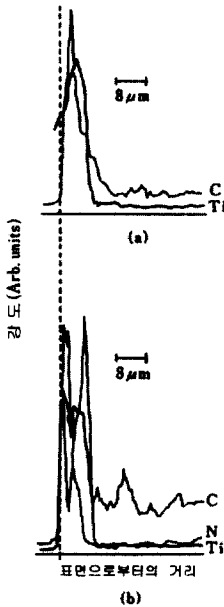


그림 4-8. SKH 51에 TiC (a) 및 TiC-TiN (b)를 피복한 때의 EPMA 선분석.

고, TiC가 형성되어 있는 것으로 판명된다. 피복층의 바로 아래에서도 C의 농도저하는 인지되지 않지만 탈탄 현상은 일어나지 않는다. (b)는 마찬가지로 TiC-TiN의 복상 피복시료의 Ti, C 및 N의 농도분포를 나타낸다. 표면부에 Ti와 N농도가 높은 부분이 존재하고, 그 내부에 Ti와 C의 농도가 높은 부분이 관찰된다. 이 결과에서 TiC-TiN의 복상이 피복되어 있고, 게다가 양화합물 사이 및 TiC와 모재간에는 각원소의 농도가 연속적으로 변화하고 있는 것으로 판명된다. 또한 탈탄 부분도 보이지 않고 모재와 피복층간에는 높은 밀착성이 존재하고 있는 것으로 판명된다.

그림 4-9에 SKH 51의 모재표면에 TiC, TiN 및 TiC-TiN을 각각 피복한 경우의 표면 거칠기의 프로파일을 나타내었다. 처리전의 시료표면은 버퍼연마까지 하였으나, 피복 처리후의 표면은 처리전에 비해서 조금 거칠게 되는 것으로 판명된다. 피복층은 기상성분이 모재 위에 증착하는 것에 의해 성장하므로 표면 거칠기는 그때의 조건에 의존한다. 특히 처리에 사용되는 가스의 순도는 표면 거칠기에 큰 영향을 미치지만 공구 등에 응용할 때는 랩핑을 필요로 하는 경우가 있다. 또한 처리전의 모재표면은 될 수 있는 한 평활하게 해 놓을 필요가 있다.

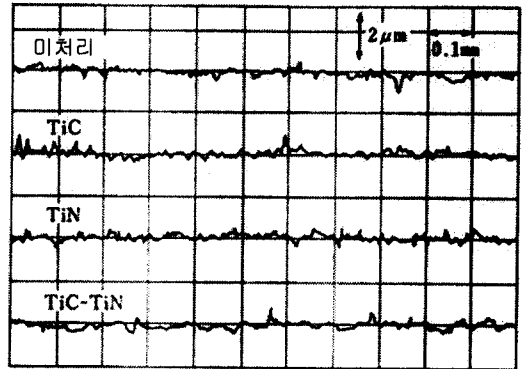


그림 4-9. SKH 51에 피복처리한 시료의 표면 거칠기.

표 4-4. 코팅의 종류와 모재의 적합성

강 종	코팅의 종류				
	TiC	TiN	TiCN	Cr-C	Al ₂ O ₃
탄소공구강	○	○	○	○	○
고속도공구강	○	○	○	○	○
합금공구강	○	○	○	○	○
스테인리스강	○	○	○		
초경 (WC-Co 계)	○	○	○	○	○
스테라이트			○		
세라믹			○		
동합금			○		
탄소	○	○	○	○	○
소결금속 (Cu,Fe 계)			○		
주철			○		

4-1-3. 적용모재의 선택

지금까지의 코팅물질이 어떤 모재에 적합한가? 즉 기지 모재의 선택도 중요한 문제이다. 강의 경우는 탄소량이 어느 정도 있어야 하고, 저급강보다 Cr, Mo, V, Ni 등의 합금원소가 첨가되어 있는 고급 합금강 쪽이 코팅층과의 확산현상이 활발하기 때문에 적합하다고 할 수 있다.

초경합금(WC-C)에도 코팅이 가능하고 내소축성, 내마모성이 비약적으로 개선된다. 초경합금의 경우는 코팅후에 모재를 경화시킬 재열처리가 필요없고, 강과 비교해서 그 점에 있어서는 더욱 유리하다. 코팅 피막의 종류와 모재적합성은 표 4-4에 정리되어 있다. MT-CVD에서는 동합금, 스테라이트, 주철 및 소결금속에 이르기까지 코팅이 가능하고 적용모재의 범위가 점차 넓어지고 있다.

사진 4-2에는 고속도강(SKH 51)에 CVD처리를 한

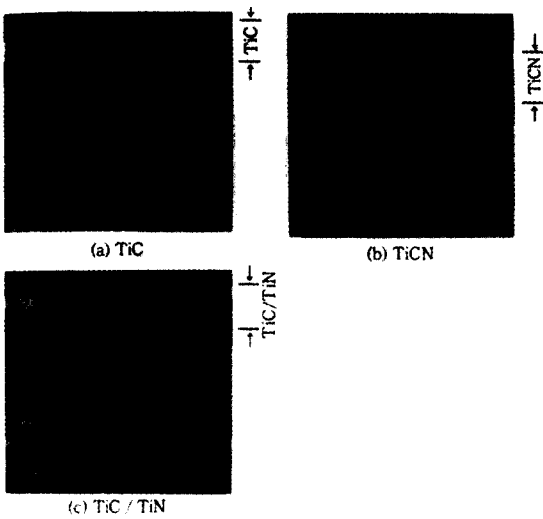


사진 4-2. 고속도강 (SKH 51)에 HT-CVD 처리한 단면조직.

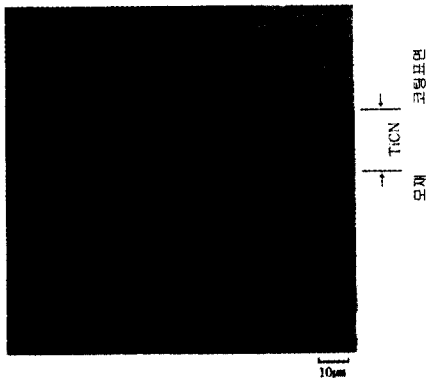


사진 4-3. 초경합금 (WC-Co)에 MT-CVD 처리한 SEM조직.

표면현미경 조직의 대표 예를 나타낸다. 또한 사진 4-3 및 사진 4-4에는 각종재료의 MT-CVD처리를 한 단면 현미경 조직을 나타낸다. 어떤 코팅층도 지극히 치밀하고 게다가 균질하다고 말할 수 있다. 사진 4-5에는 보통 throw away chip에 적용되고 있는 초경질합금(WC Co)의 대표적인 다층코팅피막(TiC/TiN/Al₂O₃)의 단면조직을 나타내고 있다.

그림 4-10은 각종재료에 TiC, TiCN 및 TiN을 한 단면의 경도분포이다. 특히 주의하지 않으면 안될 점은 코팅 바로 아래 경도가 내부경도보다도 낮게 되는 경우 이것은 탈탄현상 등에 의한 것으로 생각되는 것으로, 성능을 현저히 저하시키는 원인으로 되므로 주의하여야 한다. 초경합금(WC)의 경우는 상의 석출이 바로 그것이다.

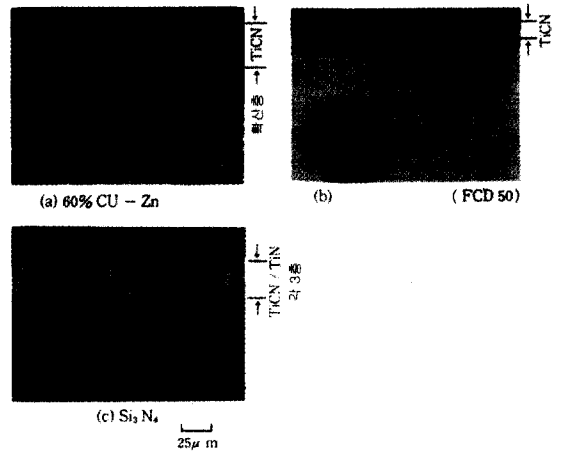


사진 4-4. 각종 재료에 MT-CVD 처리한 단면조직.

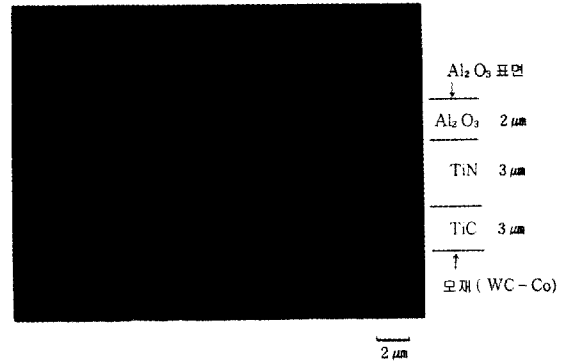


사진 4-5. SEM에 의한 다층코팅 피막 (TiC/TiN/Al₂O₃)에 단면조직.

4-1-4. 밀착성

모재와 코팅피막의 밀착성은 그 특성을 평가하는 데에 있어 중요한 포인트이다. 아무리 경도가 높은 피막을 코팅하였어도, 모재와 코팅피막간의 밀착성이 나쁜 경우는 그 경계부에서 박리현상이 나타나 내구수명이 현저히 떨어진다.

밀착특성에 미치는 요인을 크게 분류하면

- 1) CVD 처리시의 전처리
- 2) CVD 처리조건
- 3) 모재의 선택
- 4) CVD 처리후의 후처리

등이 고려될 수 있으며, 어떤 항목에서도 배려가 소홀하면 밀착성이 저하하는 원인이 된다. 그림-4-11은 밀착성에 미치는 요인을 정리하여 놓은 것이다.

코팅 피막의 밀착성을 평가하는 방법으로서 문지르는

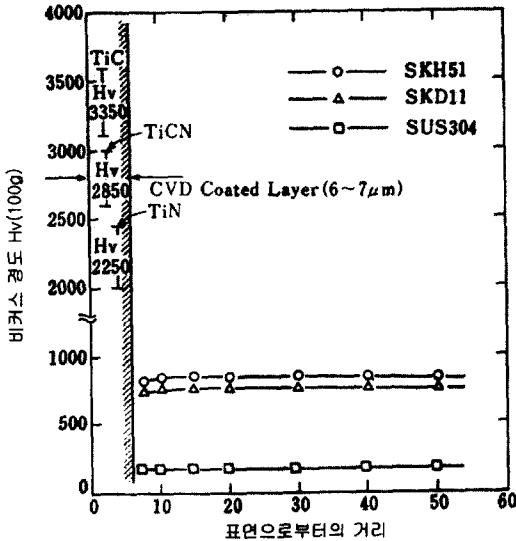


그림 4-10. CVD코팅한 각 강종의 단면경도분포.

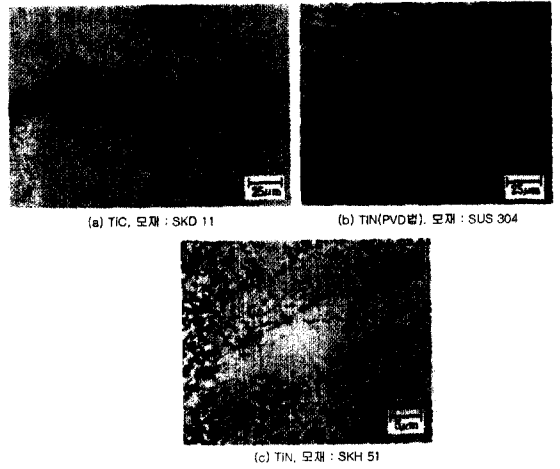


사진 4-6. 비커스 압흔법에 의한 현미경 사진. (하중: 1 kgf)

마모시험, 경도계를 이용한 압흔시험, 에릭센 시험 등이 있다. 어느 것이나 일장일단이 있고, 실제 사용해 보면 판정이 나오지 않는 경우가 종종 있다. 최근 개발한 스크래치 테스트는 종래의 시험법과 비교하여 가장 신뢰성이 있고, 우수한 방법인 것으로 생각된다.

표 4-5는 이러한 코팅피막과 모재의 밀착성에 관련하여, 각종 모재와 코팅 종류의 관계를 압흔시험에 의해 비교한 결과의 요약이다. CVD와 PVD를 비교한 경우, CVD법 쪽이 밀착성이 우수한 결과가 얻어진 것은, CVD법에서는 처리온도가 높기 때문에 모재와의 사이에서 C 등의 원자의 확산이 활발히 일어나고, 강고하게 밀착하여 있기 때문이라고 생각된다.

사진 4-6(a)는 모재가 합금공구강(SKD 11)으로, TiC



그림 4-11. 밀착특성에 미치는 요인.

표 4-5. 코팅피막과 모재의 밀착성

피복층의 종류와 모재		하중 (kg)								
		0.2	0.3	0.5	1.0	5.0	10.0	30.0	50.0	
CVD	SKH 9	TiC	○	○	○	○	△	▲	▲	▲
		TiN	○	○	○	○	○	△	△	▲
		TiCN	○	○	○	○	○	△	▲	▲
		TiC-TiN	○	○	○	○	○	○	△	▲
	SKD 11	TiC	○	○	○	○	△	▲	▲	▲
		TiN	○	○	○	○	○	○	△	▲
		TiC-TiN	○	○	○	○	△	▲	▲	▲
	SUS 304	TiN	○	○	○	○	○	○	△	▲
		TiN-Al ₂ O ₃	○	○	○	○	○	○	△	▲
PVD	SUS 304	TiN	○	○	△	▲	▲	▲	×	×

○ 정상 △균열개시 ▲균열 ×박리



사진 4-7. 스크래치시험기의 외관. (CSEM연구소, REVET-EST®)

코팅 경계단면에 비커스 1 kg 하중의 압흔을 누르고 그 경계부의 내박리성을 관찰한 것이다. 이 사진에서는 크랙의 발생이 인지되지 않고 우수한 밀착성을 갖고 있는 것으로 생각된다. (b) 및 (c)는 TiN코팅 피막의 표면에서 비커스 1 kg 하중의 압흔시험을 행한 것이다. (b)는 오스테나이트계 스테인리스강(SUS 304)의 모체에 PVD를 한으로, 압흔의 외주부근에는 이미 크랙이 발생해 있다. 한편 (c)는 CVD에 의한 것으로 압흔부에 크랙의 발생이 인지되지 않는다.

사진 4-7에 스크래치 시험기(CSEM 연구소 REVETEST)의 외관을 나타내었다. 스크래치 방식에 의해 측정된 밀착력은 다음의 모든 인자들에 의해 지배된다.

- a. 기판의 경도
- b. 막두께
- c. 표면조도
- d. 코팅물질의 경도
- e. 코팅재의 마찰계수

Benjamin과 Weaver은 모재와 막의 밀착력(Fc)을 모재의 경도(H)와 임계하중(Lc)의 함수로서 나타내었고, 다음과 같이 된다.

$$F_c = K \sqrt{\frac{HLc}{\pi R^2}}$$

식이 된다.

K는 막의 재질에 의해 결정되는 정수로, TiN은 K = 0.26로 되어 있다. R은 스크래치 테스트의 압자의 반경이다.

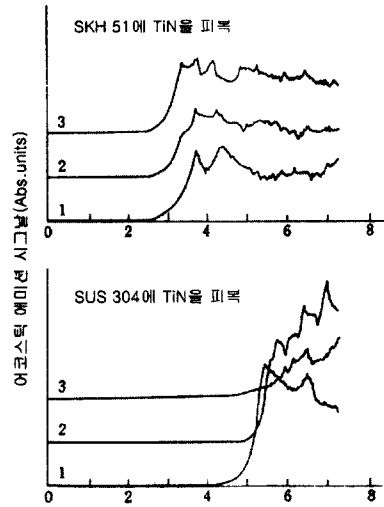


그림 4-12. 스크래치 시험기에 의한 박리특성 프로파일.

여러 종류 표면처리재의 밀착성을 평가하는 시험기인 스크래치 시험기를 응용하여, 모재와 피막층과의 밀착성 평가를 실시하였다. 그림 4-12에 SKH 51 및 SUS 304에 TiN을 피복한 시료에 있어서의 시험결과이다. 횡축은 이동하고 있는 다이아몬드 압자에 연속적인 하중을 가한 때의 하중 값이고, 종축은 그 때의 충격신호량을 나타내고 있다. 그림에서는 동일한 조건에서 3회 시험한 결과이다. 박리가 생기는 하중도 거의 일정하고, 재현성은 지극히 좋다. 그림에서, TiN을 피복한 경우, SKH 51에 비교해서 SUS 304는 2배의 밀착강도를 가지고 있는 것으로 판명된다. 이와 같은 밀착성 평가에 있어서는 스크래치 시험기에 의한 방법이 가장 우수한 것으로 생각된다.

그림 4-13은 어코스틱에미션(Acoustic Emission)과 이외에 마찰계수(μ)와 마찰력(Ft)을 동시에 측정한 것이다. 밀착력 판정의 정도를 높이는 수단으로서는, 합리적인 방법이다.

마모특성을 연구하기 위해, 니시하라(西原)식 구름 마모시험기를 이용하여, TiC, 혹은 TiN의 단층 및 복층 코팅한 것과 미처리재와 비교시험을 했다. 모재의 강종으로서는, 코팅에 잘 이용되고 있는 SKH 51, SKD 11 및 SUS 304를 골랐다. 마모조건은 건식으로 슬립 0%로 하고, 최대압축응력 110 kgf/mm²로 105 회전후의 마모중량을 측정하였다. 그림 4-14는 그 결과의 요약이다. 이 결과로부터, 코팅으로 내마모성이 현저히 우수해지는 것을 확인 할 수 있다. 마모면 관찰에서는 미처리

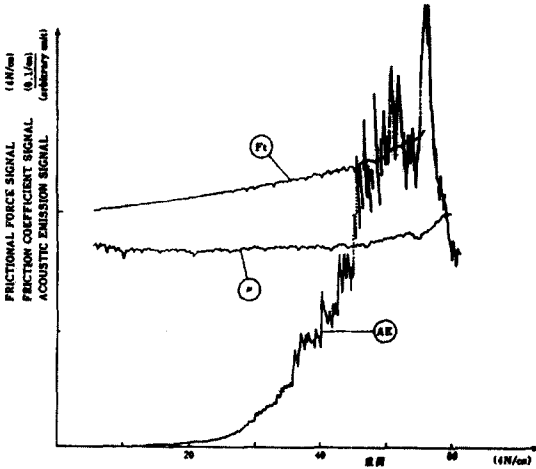


그림 4-13. AE와 마찰계수 및 마찰력의 관계.

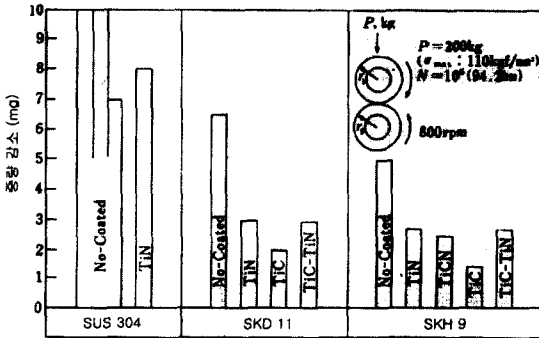


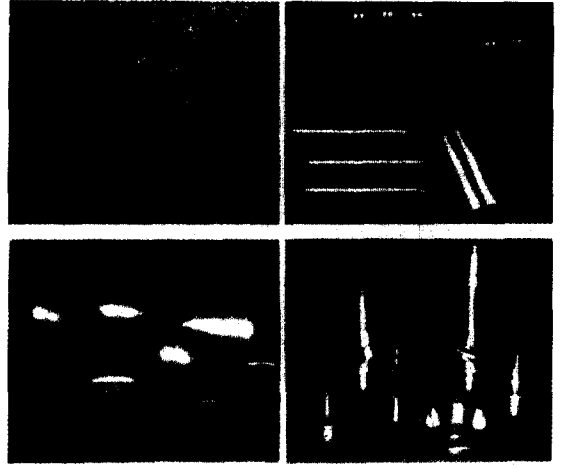
그림 4-14. 니시하라(西原)식 구름 마모시험결과.

재와 비교해서, 코팅재는 용융마모의 정도가 작는데, 이것은 TiC 및 TiN 자체가 고용점 재료이며 게다가 고온경도가 높기 때문인 것으로 생각된다.

4-1-5. CVD를 포함하는 복합 열처리

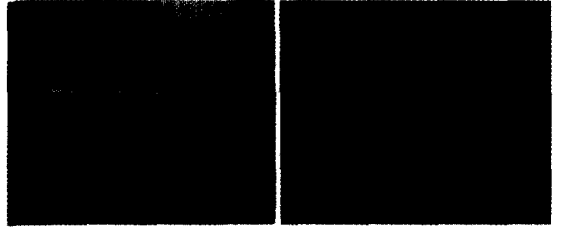
증착법이라 하여도, 단독 처리만으로 하는 경우는 적고, 특히 강의 내마모성을 목적으로 하는 경우는 증착 처리와 동시에 모재 기질을 경화시키는 복합열처리를 하는 것이 보통이다. 또 다른 복합열처리로서는 막두께의 증대, 복층 코팅을 목적으로 각종 증착(VD) 처리의 조합시키는 복합화가 고려될 수 있으며, 각각의 목적에 따라서 처리되고 있다. 그 대표적인 처리법의 예를 들면,

- ① CVD + 진공소입
- ② CVD + 고주파 또는 레이저 소입
- ③ TD + CVD



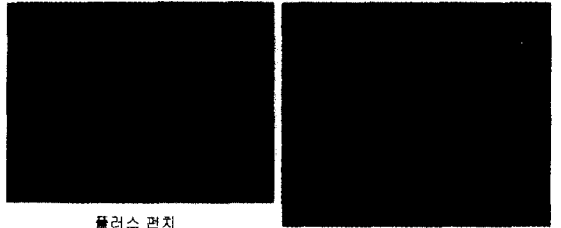
다이 펀치

F 鋼



핀

공



롤러 펀치

슬라이드 바



로울러

사진 4-8. 응용예의 외관.

- ④ CVD + PVD
- ⑤ 파인침탄 + CVD
- ⑥ CVD + CVD

등이 있다. 각각의 단독처리를 복합화하는 것으로서 상승효과가 기대될 수 있다. 그러나 이러한 복합처리법

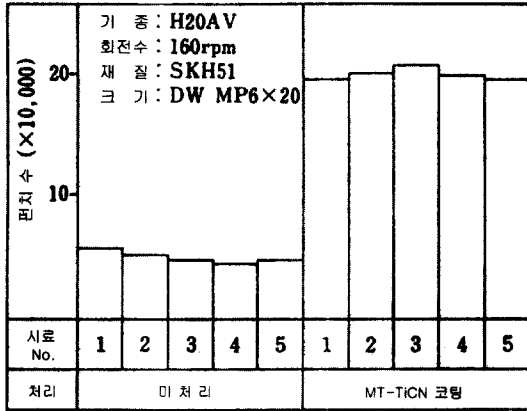


그림 4-15. 플러스 펀치의 내구수명.

은 지금부터 발전하는 처리법으로, 또한 해명되지 않은 것도 많으므로 기초적인 연구 결과가 확립될 필요가 있다.

4-2. 응용 예

절삭공구와 금형의 수명을 연장시킬 목적으로, 이러한 코팅처리가 폭 넓게 이용되고, 가공품의 품질안정 및 코스트 다운에 큰 효과를 발휘하고 있다. 또한 최근에는 공구와 금형만이 아니라, 기계부품이나 바이오 테크 날리지 등과 같은 특수한 분야까지 응용범위가 점차로

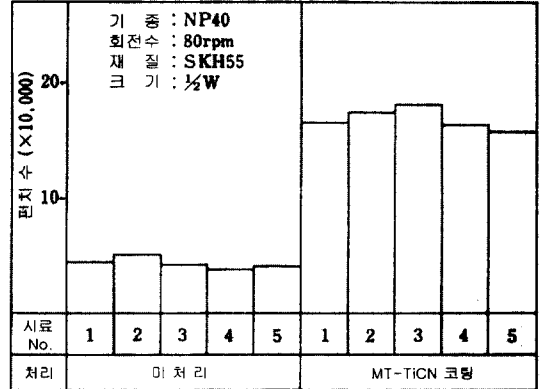


그림 4-16. 피어싱 펀치의 내구수명.

확대되고 있다. 사진 4-8에 응용예의 외관을 나타내었다.

그림 4-15는 플러스 드라이버의 펀치에 MT-TiCN을 한 것으로, 펀치 선단의 마모가 감소하여 미처리품과 비교해서 3.5배의 수명이 연장된 예이다. 사진 4-9는 그 때의 펀치선단의 마모상태를 관찰한 것이다. 표 4-6에 CVD 처리에 의해 개선된 적용 예를 소개한다. 미처리품과 비교해서 약 3.5~4배의 수명 연장이 얻어졌다.

그림 4-16은 피어싱 펀치(SKH 55)에 TiC 단층 코팅을 한 예로, 랜드부의 가지리 현상이 작게 되고, 약 3.5 배 수명이 연장 되었다. 그림 4-17에는 육각 트리밍 다이 (SKH 51)에 TiC-TiN의 복층 코팅을 한 예로 미처리

표 4-6. CVD 코팅에 의한 응용부품예.

금속절삭	절삭공구, 밀링공구, 절삭바이트, 드릴
금속성형	인발펀치 및 다이, 코인닝 공구, 면따기 공구, 스탬핑 공구
화학공업	펌프 샤프트, 패키징 슬립, 혼합 날개, 공금 스크류
플러스 치구 제법	주형공구, 혼합부품, 노즐
기계부품	프리쿠션 부품, 마모부품, 스프레이 건 노즐
섬유기계공업	직물섬유 커터, 압축롤, 스피닝 노즐

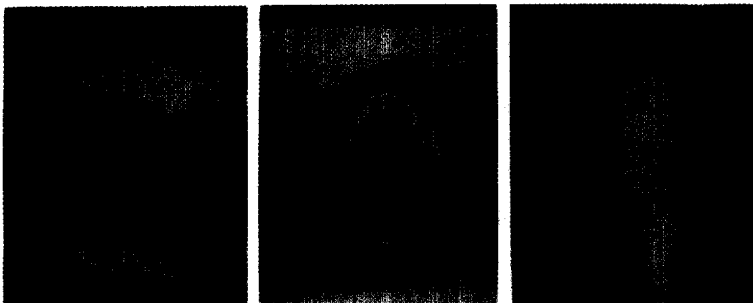


사진 4-9. 플러스 펀치의 사용후의 외관과 표면상태.

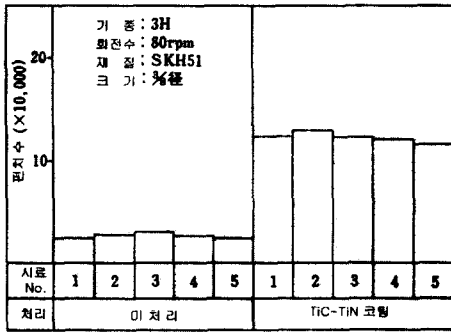


그림 4-17. 육각 트리믹스다이의 내구수명.

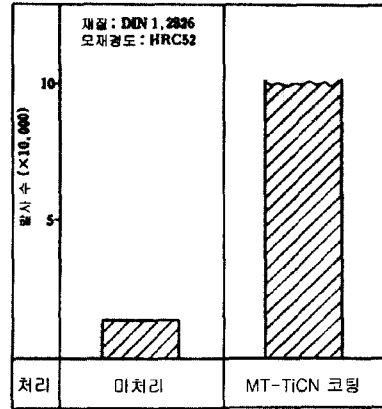


그림 4-19. 플러스 치구 인젝션 노즐의 내구수명.

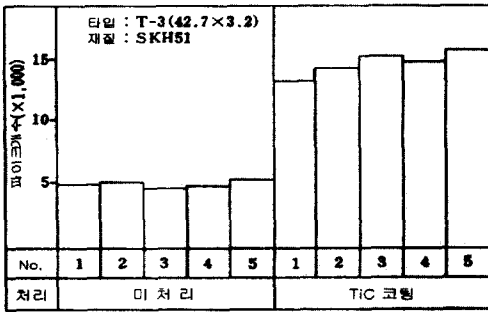


그림 4-18. 파이프 커터의 내구수명.

약 5배 이상의 수명이 연장되었다. 내구수명에 있어서는 용도 및 사용조건에 의해 다르고, 이후 많은 데이터의 축적이 요망된다.

표 4-7에는 여러 종류의 금형수명의 개선예를 나타내었다. 개선수명의 상세한 데이터, 즉 어떤 금형에 어떤 종류의 코팅을 하는가를 각 기업이 독자의 노하우를 가지고 있으며, 특수한 예는 기업 비밀로서 아직도 공개되지 않는 현실이다. 이점에 있어서는 각 사의 데이터의 축적이 필요하다고 통감한다.

품에 비해, 가지리 및, 칩의 발생이 작게 되고, 약 5배로 수명이 길어 졌다. 그림 4-18은 파이프재의 절단날(SKH 51)에 TiC 코팅을 하지 않고, 마모 및 가지리 현상이 개선되고, 약 2.5배의 수명 향상이 얻어진다. 그림 4-19는 플러스 치구 인젝션(DIN 1.2826)에 MT-TiCN 코팅을 한 것으로 내마모성 및 내식성의 향상에 의해

4-3. 앞으로의 동향

CVD법에 의한 코팅 피막의 특성에 관해서는 아직까지도 확실하지 않은 점이 많고 실제로 사용하여 보지 않으면, 좋고 나쁨의 판정이 쉽지 않은 경우가 많다.

표 4-7. CVD 코팅에 의한 금형수명의 개선예

대상공구	치수 (mm)	재질	피가공품의재질과 두께	코팅에 의한 내구수명비	적용부품	
deep drawing	다이	φ 120 × 80	SKD 11	2.0t SPC	30 배	베어링레이스
	펀치	φ 80 × 20	SKH 51	1.0t SUS304	20 배	커버
	슬립	φ 20 × 40	SKD 11	0.2t BsP 1	8 배	군수품
타발	펀치	φ 15 × 100	SKH 51	3.0t SPC	10 배	자동차부품
	펀치	φ 6 × 70	SKH 55	1.5t SUS304	8 배	드럼
	펀치	6 × 8 × 100	SKD 2	0.3t PBSP	16 배	전기부품
구부림	페시딩 플레이트	60 × 200 × 70	SKD 11	1.5t S15C	4 배	죄는 도구
	성형롤	φ 200 × 100	SKD 11	1.0t SUS304	20 배	창 칩
	금형	60 × 130 × 15	SKD 2	0.5t A2017P	6 배	갭 (gap)
냉간단조	펀치	φ 9.5 × 85	SKH 51	3.6t	8 배	브레이크 판
	다이	φ 30 × φ 50 × 40	SKD 11	0.5t BsP 1	3 배	접수
	성형롤	φ 60 × 30	SKD 12	0.3t SPC	5 배	음료통

이것은 금후의 실용시험에 의한 타이타의 축척과 이론적인 규명이 필요하고, 특히 CVD법에 의한 복층코팅에 있어서는 단층코팅에 없는 장점을 나타낼 가능성이 있다. 각각의 용도, 목적에 따라, 적절한 모재에 적절한 코팅을 하므로써 요구하는 모든 성질을 만족시킬 수가 있고, 초경질 화합물의 피복처리법으로서 중요한 위치를 차지할 것으로 생각된다. 앞으로 각 분야에서의 용도개발이 한층 더 진전되기를 기대하고 있다. 그러나 현재 공업화되고 있는 CVD법에도 많은 결점도 갖고 있는 것도 부정할 수 없다. 이제부터라도 CVD 처리 자체의 개량연구가 급속히 진척되고, 특히 새로운 CVD법의 공업화도 멀지 않다고 생각된다.

참고문헌

1. 池永 勝, 今井康雄, 谷口孜: 機械技術, 7(1982), p. 39.
2. 池永 勝, 今井康雄, 谷口孜郎: 金屬, 11(1983), p. 62.
3. 池永 勝, 三好芳彦: 特殊鋼, 9(1983), p. 20.
4. 池永 勝: 工業材料, 3(1984), p. 51.
5. 池永 勝: プレス スール(1983), p. 5.
6. 池永 勝: プレス スール(1984), p. 5.
7. 池永 勝: (株)東レリサーチセンター, 新材料(1984), p. 509.
8. 池永 勝: 第73回工具鋼技術研究會12 (1984), p. 21.
9. K.Akamatsu, K.Kamei, M.Ikenaga: proc. 3rd Inst. Cong. on Heat. Treat. of Mater., (1984), 313.
10. 赤松勝也, 龜井 清, 高瀬孝夫, 池永 勝, 谷口孜郎: 日本熱處理技術協會第16回學術講演大會豫稿集, (1983), 11
11. 赤松勝也, 龜井 清, 池永 勝, 三好芳彦: 日本金屬學會第93回大會豫稿集, (1983), 508.
12. 赤松勝也, 龜井 清, 池永 勝: 日本熱處理技術協會第19回學術講演大會豫稿集, (1984), p. 31.
13. 赤松勝也, 龜井 清, 池永 勝: 熱處理, 26(1986)5, p. 333.
14. 池永 勝, 河野通廣: 機械と工具, 31(1987)7, p. 104.
15. 日之出金屬熱鍊(株): 技術資料
16. Berna社: 技術資料