

새로운 열처리 기술(5)

이케나가 마사루(池永 勝)
일본 이바라키 대학 공학부 겸임교수
자료 번역 : 최창수, 정인상
경북대학교

Recent Technologies in Heat Treatment

Ikenaga Masaru

Faculty of Engineering, Ibaraki University, Japan
Translation : Chang-Soo Choi and In-Sang Chung
Dept. of Metallurgical Engineering, Kyungpook National University

이 자료는 일본금속press공업출판회에서 발간한 “앞으로의 熱處理 技術” <工學博士 池永 勝 著>을 저자의 허락을 얻어 번역한 것으로 다음과 같은 차례로 6회에 걸쳐 연재하는 다섯 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 판단 된다. 차례 : 1) 표면정화법의 전망, 2) 연질화와 복합열처리, 3) 진공열처리, 4) 화학증착법, 5) 물리증착법, 6) 레이저 열처리, 7) 질소를 이용한 열처리, 8) 플라즈마 열처리, 9) 이온 주입, 10) 금형 표면열처리와 과제, 11) 각종 데이터

9. 이온주입법

이온주입법은[1-15] 고체내부로 입자를 주입하는 방법 중의 하나이며, 진공 중에서 첨가하려는 입자를 이온화시킨 후, 정전계 상태에서 가속하여 고체 기판(모재)에 입자를 충돌시켜서 주입하는 방법이다. 원래 이 기술은 원자물리학과 가속기과학에 이용되었지만, 1960년대 후반부터 반도체 분야에서 도전층과 고저항층 형성을 위한 불순물 첨가의 필수적인 기술로 발전되어 왔다. 특히 이온주입법은 상온에서 순도가 높은 입자를 특정한 깊이로 필요한 양을 정확하게 첨가할 수 있는 유일한 방법으로 생각되고 있다.

이온주입법을 운동에너지의 관점에서 다른 표면처리법과 비교해 보면 그림 9-1과 같다.

반도체 이외의 분야에 대한 응용이 시도된 것은 1970년대 초부터 미국과 유럽을 중심으로 이루어졌다.

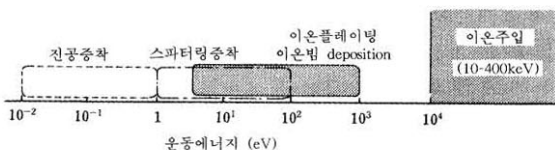


그림 9-1. 운동에너지 측면으로 본 각종 박막 형성법

그리고 일본에서는 1970년대 말부터 반도체 이외의 금속과 절연물에 이온을 주입해서 재료의 표층을 개질하려고 하는 연구가 시작되었으며, 재료 표면층의 내마모성, 내피로성 및 내식성을 개선하려는 목적으로 주로 연구가 되어 있다. 또, 이 기술을 CVD(화학증착)법과 복합적으로[4] 적용함으로써 여러 가지 복합재료의 제조가 가능하게 되었다.

물질에 따라서는 금속상태로부터 절연물인 세라믹 상태에 이르기까지 단계적으로 깊이에 따라 특성이 달라지는 박막의 제조가 가능하다. 게다가 이와 같은 방법으로 제조된 제품은 밀착성이 우수하기 때문에 기계적인 마찰과 압력에 강한 장점이 있다. 따라서 첨단기술의 하나로서 여러 가지의 용도개발이 기대되고 있다.

9-1. 주입이온의 분포

타겟 재료에 주입된 이온은 그림 9-2에 표시된 바와 같이, 타겟 금속내의 원자와 차례로 충돌하면서 주변에 공공, 격자간 원자 등의 격자결함을 발생하면서 이동하다가 결국은 정지한다. 주입이온의 분포는 LSS 이론[1]에 의해서 계산하면 실험결과와 잘 일치하는 것으로 알려져 있다.

주입층에는 주입이온과 타겟 원자와의 충돌에 의해서

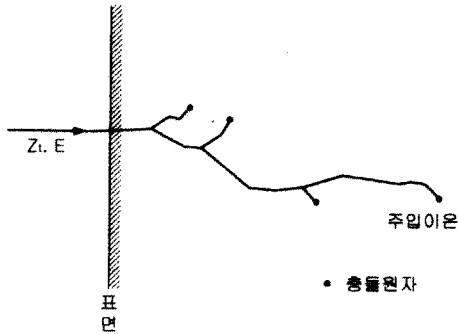


그림 9-2. 주입이온의 비적(飛跡)

발생된 다수의 격자결함이 있으므로 주입 후 열처리를 하거나 혹은 고온에서 주입하거나 해서 격자결함을 제거할 필요가 있다. 주입처리 과정 중에 발생한 공공에 의하여 주입이온의 고속화산이 가능하게 되어 주입이온은 재료의 깊은 곳까지 들어가게 된다. 또 타겟이 단결정일 때는 주입방향이 결정축에 평행하거나 거의 평행에 가까운 경우에는 이동채널이 생겨서 아주 깊은 곳까지 이온이 침입한다.

9-2. 이온주입의 원리와 특징

그림 9-3은 이온주입장치[3]의 개략도이다. 장치의 구성은 이온발생장치, 정전가속기, 질량분리기, 빔주사기, 주입실 및 진공배기 시스템으로 이루어져 있다. 이온발생장치는 주입하는 입자를 이온화하는 것으로서 고주파 방전형과 저전압 아크 방전형 등이 이용되고 있다. 이 이온발생장치에서 발생한 이온을 정전가속기에서 가속시키면서 날리면, 질량분리기에서 목적으로 하는 이온종

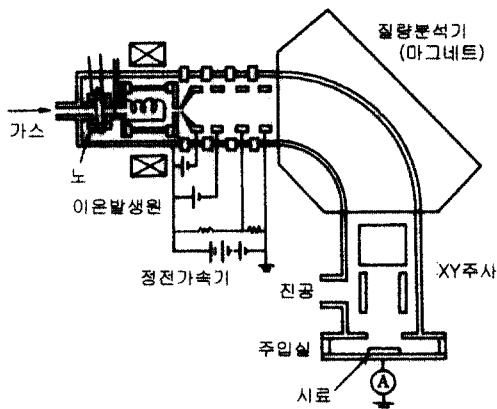


그림 9-3. 이온주입장치의 구성 개요

을 선택해서 시료에 조사한다. 빔주사기는 주입을 균일화하기 위해 이온빔을 진동시키면서 조사한다.

이 장치에는 다음과 같은 특징이 있다.

- 1) 이온화되는 입자는 모두 첨가할 수 있다. 즉, 주입율표에 있는 모든 원소의 첨가가 가능하다.
- 2) 비열평형의 프로세스이므로 고용되지 않는 원소에도 적용할 수 있으며, 더욱이 고용원소라면 고용도를 초과해서 첨가할 수 있다.
- 3) 실온에서도 불순물 원자의 첨가가 가능하기 때문에 공업제품에의 응용이 기대된다.
- 4) 질량분석기를 이용하기 때문에 첨가원소의 순도가 높다.
- 5) 이온빔을 주사하기 때문에 기판면상에서의 균일성이 우수하다.
- 6) 첨가량은 이온전류와 처리시간에 의해서 정확하게 제어할 수 있다.
- 7) 첨가된 입자의 깊이는 기판과 첨가입자의 종류에도 의존하지만 에너지에 의해 제어가능하다.
- 8) 기판에 입자를 도입하는 방법이므로 증착과 같은 첨예한 계면이 없다.

이러한 특징은 모두가 반도체의 이온주입에 관한 연구에 의해서 실험적으로 인정되고 있다. 게다가 이러한 특징을 강재에 응용하는 측면으로 보면 다음과 같은 특징이 있다.

- 1) 내마모성의 향상과 마찰계수의 저하
- 2) 내피로성의 향상
- 3) 내식성의 향상
- 4) 2중 이온주입에 의한 복합재료의 제작
- 5) 세라믹스 층 형성의 가능성
- 6) 고체기판(모재)의 가열 없이 상온에서 처리가 가능

이온주입을 응용한 박막형성법으로서 IVD(Ion and Vapor Deposition)법이 있다. 그림 9-4는 박막형성 및 표면층 개질작용의 개념도이다. 이것은 이온주입장치와 진공증착법을 조합한 표면처리기술이다. 이온원자 하나당 에너지는 10~20 KeV이고 이는 통상의 이온주입법의 경우보다도 훨씬 낮은 에너지의 이온을 사용하고 있다. 박막형성 초기 단계에서는 증착된 원자의 일부는 이온과의 충돌로 인하여 기판에 침입된다. 동시에 입사 이온도 기판에 주입되어 기판과 증착박막 사이에 새로운 층이 형성된다. 이 상의 존재는 기판에 대한 부착성을 강하게 할 것으로 기대된다.

이온주입에 의해 철의 표층을 합금화·세라믹스화 하

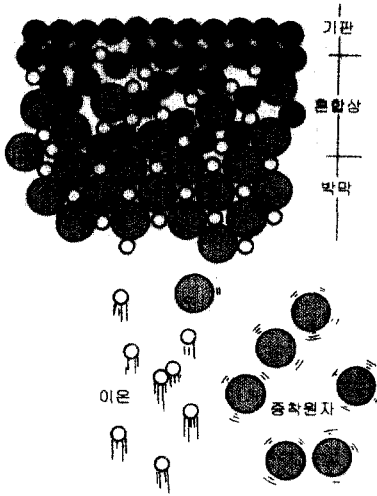


그림 9-4. 박막형성 및 표면층 개질기구의 개념도

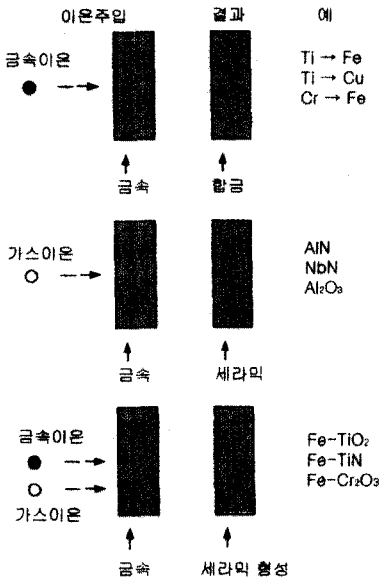


그림 9-5. 이온주입에 의한 금속 표면층 처리의 개요

는 것이 가능하게 되며, 다른 많은 금속에서도 적용할 수 있을 것이다. 그림 9-5는 이온주입에 의한 금속표층 처리의 개요이다. 주입된 이온이 기판의 원자와 결합해서, 화합물을 형성하는 경우가 있다. 철에 질소와 붕소를 주입하면 질화물, 붕화물이 실온에서 형성된다. 이것은 세라믹스가 실온에서 형성되는 것을 나타내주는 것이며, 주입량의 제어가 가능하기 때문에 세라믹스의 두께 제어가 가능하다. 이 제어는 강 표층의 마찰과 마모

등의 거시적인 성질의 제어와 관련이 있다. 또 금속이온과 비금속이온의 2중 주입에 의해 주입된 금속이온의 화합물 형성도 가능하다. 이 예로서는 철에 티타늄과 산소의 2중 주입에 의해 이루어진 TiO_2 형성 등을 들 수 있다.

9-3. 이온주입의 실제와 효과

이온주입을 응용한 처리법으로서서는 우선 자이메팅(Zymeting)[5~7]이 있다. 자이메팅 처리는 미국의 자이메트사가 개발한 금속표면개질용의 이온주입법으로서 주로 질소 등의 주입이 이루어진다. 일본에서는 마루베니(丸紅) 하이테크(주)가 그 장치의 판매와 기술서비스를 실시하고 있다. 종래의 표면처리와는 다른 아주 새로운 표면처리법으로서, 열화산과 코팅처리를 실시하지 않고 이온주입에 의하여 높은 에너지 빔을 금속표면에 주사하여 내마모성 등을 갖는 표면형성층을 만들기 위하여 개발된 것이다. 이 장치에 의하면 공구, 금형, 기계부품 등의 내구수명을 비약적으로 연장시킬 가능성이 있으며, 새로운 표면처리법의 하나로 일컬어지고 있다. 자이메팅의 특징은 다음과 같다.

- ① 처리 후 공구치수의 변화가 없다.
- ② 저온처리로서 피처리재의 온도상승이 거의 없다.
- ③ 변형이 생기지 않는다.
- ④ 처리에 의한 바리가 없다.
- ⑤ 처리 후에 마무리 처리공정이 필요없다.

이온주입의 각종 시험결과에 대해서는 금속표면처리로서의 연구보고가 적기 때문에 지금부터는 자이메팅 처리에 의해 이루어진 기술자료 중의 시험결과를 기초로 해서 소개한다.

그림 9-6은 자이메팅 프로세스의 개략도이다. 이 처리 기술은 이미 언급한 바와 같이 초정밀 반도체 회로에 변형을 가져다 준 기술이다. 고속으로 가속된 이온빔을 금속에 주입해서 표면개질, 즉 성분변화를 일으키는 것이다. 이러한 개발에 의하여 장기적으로 유효한 내마모성, 혹은 내식성 등이 있는 표면층을 형성시킨다. 주입 공정은 아주 간단해서 질소 등을 진공 중에서 이온화시키고, 적당한 전위차, 예를 들면 100 kV로 가속한다. 그리고 이러한 고속으로 가속된 이온을 표층의 조성구조를 변화시키기 위해 금속표면에 주입한다. 이온빔에 의한 표면처리는 유독가스와 화학물질에 의하여 유발되는 위험성이 없고 청결하므로 무공해처리라고 말할 수 있다.

표 9-1은 자이메트 Z-100 시스템의 규격이다.

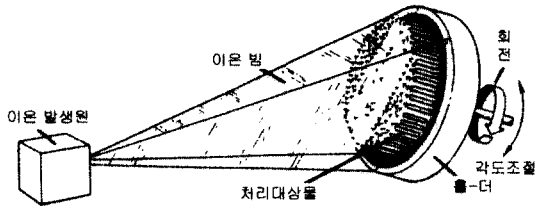


그림 9-6. 자이메팅 프로세서의 개략도

표 9-1. 자이메트 Z-100 시스템의 사양

빔 에너지	50~90 keV
빔 전류	6 mA
빔 형상	20 W x 200H
주입특성	2 x 10 ¹⁷ 이온/cm ²
주입영역	400 cm ²
이온밀도	16~100 μA/cm ²
주입시간	<90 min/매치
처리체적	150 L x φ200

그림 9-7에는 각종 공구에 질소주입(자이메트)을 실시한 경우, 마모저감에 의해서 공구수명이 개선되는 일례를 나타내고 있다. 이 사례에서는 3~6배 개선되는 것으로 나타나고 있으며, 강에서뿐만 아니라 텅스텐 카바이드계(WC-Co)의 초경합금에도 효과가 있는 것이 확인되고 있다. 또 표 9-2는 자이메팅을 이용한 공구, 금형,

표 9-2. 자이메팅 이용분야와 수명개선 예

이용분야	재질	수명확대(배)
박판강 편칭용 편치와다이	Co-WC	x6
동봉용 마무리 롤러	H-13강(SKD61)	x3
강선 인발다이	Co-WC	x3
실 절단용 다이	M ₂ 고속도강(SKH51)	x5
페놀수지용 탭	M ₂ 고속도강(SKH51)	x5
합성고무용 슬릿 칼	Co(6%)-WC	x12
종이 절단용 슬릿 칼	1.6%Cr, 1%Cr강(SUJ-2)	x2
강 박판용 슬릿 칼	Co-WC	x3
사출성형용 노즐	공구강	x4
사출성형용 스크류	공구강	x4
사출성형용 몰드	공구강	x4
플라스틱용 컷터	다이아몬드 공구	x4
스코아다이	공구강	x3
플라스틱 キャリフレ...다이	공구강	x2
플라스틱 プロファイル다이	공구강	x2
프린터 기관용 드릴	Co-WC	x3

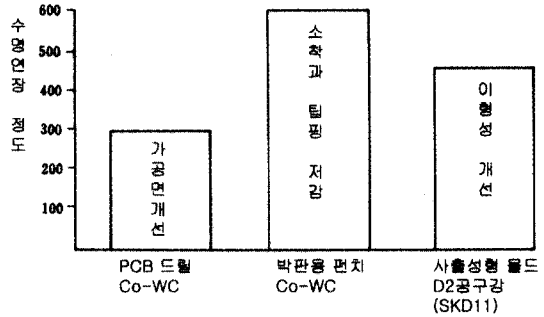


그림 9-7. 공구 수명의 개선 예

노즐, 컷터, 스크류 등의 수명개선 사례를 보여주고 있지만, 그 외 기계의 가동정지 시간을 줄이는 이익이 있는 것도 큰 특징의 하나인 것을 간과해서는 안된다.

그림 9-8은 WC-Co계 초경합금에 질소를 주입한 것으로서, 미주입한 것과 마찰계수를 비교하면, 질소를 주입한 것의 마찰계수는 미주입한 것의 약 1/2 이하로 나타나고 있다. 이 이유에 대하여, G. Dearnaley 등[6]은 질소주입에 의한 코발트(Co)의 강화효과와 Co와 WC 입자간의 응착특성의 개선으로 인하여 응착마모의 저감에 의하여 마찰계수가 낮아지는 것으로 설명하고 있다.

그림 9-9는 Pin-on disk 마모시험장치를 사용하여, 경화크롬도금을 실시한 판에 대한 회전수와 마모량의 관계를 나타내고 있다. 마모시험의 하중을 5.23 N과

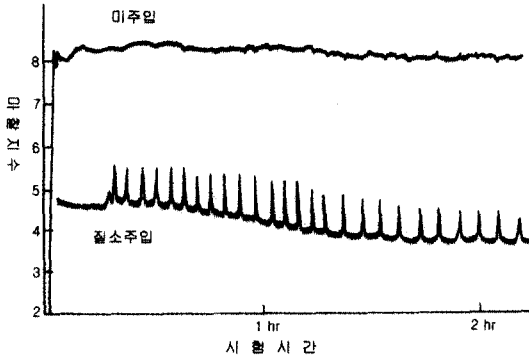


그림 9-8. WC-Co계 초경합금의 질소주입에 따른 마찰계수의 비교시험 결과

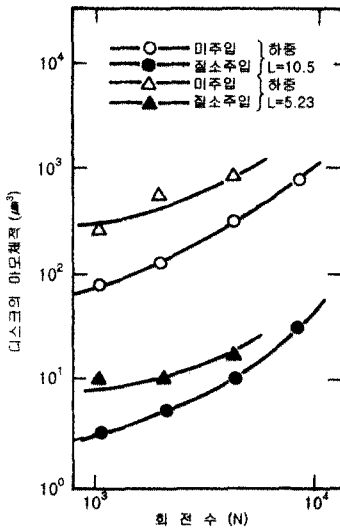


그림 9-9. 크롬도금을 실시한 디스크의 회전수와 마모량의 관계 (Pin-on disk 마찰시험장치 사용)

10.5N의 2가지로 실시한 결과, 마모량은 하중에 관계없이 약 1/10 정도로 감소하였다. 그 외, 이온주입처리를 실시한 강, 티타늄합금, 동, 크롬 및 텅스텐코발트계 초경합금(WC-Co) 등[6]에서도 내마모성이 현저하게 개선되었다는 연구결과가 영국원자력 HARWELL 연구소로부터 발표되고 있다.

지금까지 이온주입 연구자들 사이에서는, 질소와 탄소를 주입한 경우의 피로에 대해서도 시험결과가 자주 발표되고 있다. 그림 9-10은 티타늄합금에 질소와 탄소를 주입한 경우의 피로한도를 조사한 결과의 하나이다. Vardiman 등[6]은 티타늄합금(Ti-6%Al-4%V)에 주입한 질소와 탄소의 효과에 대하여 연구하였으며, 피로수명에

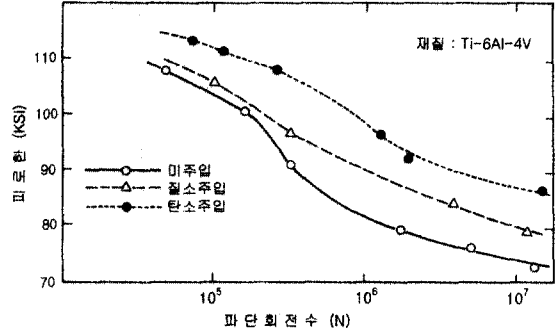


그림 9-10. 티타늄합금에 질소와 탄소를 주입한 경우의 피로한도

있어서는 탄소가 질소보다도 꽤 큰 효과가 있다는 결과를 얻었다. 피로한도의 증대 원인은 미세한 석출물이 생성되어 슬립과 전위동동이 방해받기 때문이라고 하였다. 그러나 이온주입에 의해서 피로수명이 향상되는 이유를 해석하기 위해서는 시효현상, 슬립 및 전위 등 좀더 상세한 금속물리화학적 해석이 필요하다고 생각된다.

마찰계수와 밀접한 관계가 있는 경도는 비교적 간단하게 측정할 수 있고, 시료가 작아도 된다. 그러나 주입층이 측정깊이보다 얇기 때문에 압흔이 주입층을 뚫어 버리게 된다. 따라서 하중을 작게 해서 압흔의 깊이를 알게 하면 이온주입의 효과를 알 수 있다. 그림 9-11은 Cr을 주입한 Fe의 경도와 하중의 관계이다[12]. 미주입재에서도 하중을 작게 함에 따라서 경도가 크게 나타나고 있다. 이것은 재료표층의 경도가 높다는 것을 의미하는 것이며, 이의 원인은 표면가공층의 영향이라고 생각된다. 이 재료에 Cr을 이온주입하면 저하중 측에서 더욱 단단하게 되고 주입량의 증가와 함께 경도가 더욱 커지고 있다. 따라서 크롬 주입에 의해서 Fe의 표층은 단단하게 되며, 그 원인은 크롬산화층의 영향 때문으로 여겨진다.

그 외, 이온주입에 의해서 Fe를 단단하게 하는 원소는 N 등이 있으며[13], 이러한 이온은 크롬보다도 효과가 큰 것으로 알려져 있다.

금속재료에 대해서는 전기적성질, 전기화학·촉매특성, 기계적성질의 개선이 시도되었으며, 질소이온에 의한 공구의 표면개질은 이미 실용단계에 있다. 전기적성질에 있어서는 쇼켄 소자, 초전도체 등에 적용이 검토되고 있다. 전기화학적 성질에 관해서는, 예를 들면, 강 표면부에 Cr, Ni, Mo, P 등의 주입, 스테레스 강 표면부에 Ta, W, Mo 등의 주입에 의하여 내식성의 개선이 시도되고 있다. 또, 고온에서의 내산화성의 개선(스테인레스강

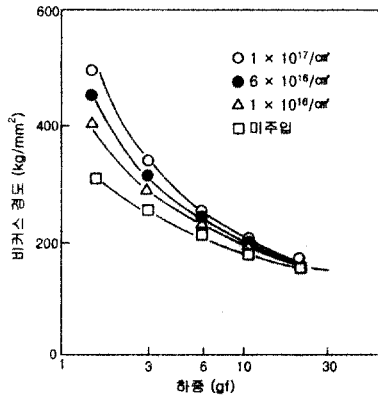


그림 9-11. Cr을 주입한 Fe의 비커스 경도에 대한 하중의존성

에 Y의 주입 등), 표면활성도의 향상 등에 의한 촉매특성의 개질 등이 시도되고 있다.

기계적성질에 있어서는 마찰계수의 조정, 표면경도, 내마모성, 피로강도의 향상책 등이 실시되고 있다. 그림 9-12는 각종 강도의 마모특성에 미치는 질소주입의 효과를 나타내 주는 자료이다.

9-4. 앞으로의 동향과 과제

반도체에 불순물 첨가법으로 성공을 거둔 이온주입법은 단순히 불순물 첨가 기술에 그치지 않고, 금속·절연체의 표면층 개질기술로서 주목받기 시작하고 있다.

Cr 이외의 원소로서는 N이 가장 많고 금속이온으로서는 Al, Ti 주입 등이 많다. 또, 절연체의 이온주입으로서는 다이아몬드의 표층전도화와 테프론의 젖음성, 또 굴절을 변화에도 시도되고 있다.

특히, 금속·절연체에의 이온주입은 아직 초기단계이다. 이온주입장치는 이온빔의 미세화와 대전류화로 진행되고 있다. 그리고 대전류장치에서는 간편화가 시도되고 있으며, 공구에의 응용이 시도되고 있다. 촉매 분야에는 10 keV 이하의 저전압·대전류 장치가 바람직하지만 이와 같은 장치는 반도체산업에서도 필요하다. 따라서 비교적 빠른 시기에 개발될 것으로 예상된다.

이와 같은 장치의 개발에 의하여 이온빔에 의한 표층개질이 용이하게 되어 새로운 재료의 개발이 기대되고 있다. 지금까지의 많은 연구가 “이온주입으로도 가능하였다.”라고 하는 결과인 반면, 지금부터는 “이온주입으로만 가능한” 과제로 옮겨 갈 것이라고 생각된다.

금속재료에의 이온주입에 의해서 내마모성, 내식성, 내피로성 등을 개선해서 이것을 해명·고찰한 문헌, 자료

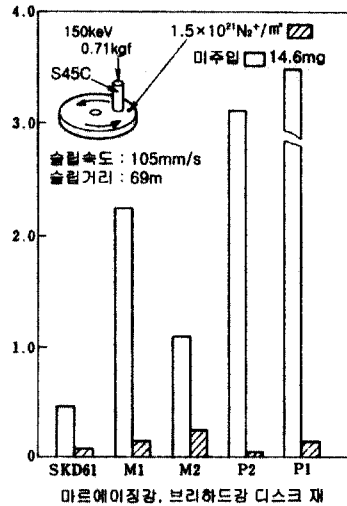


그림 9-12.

는 아직까지는 아주 적다고 생각된다. 그러므로 열처리 혹은 표면처리기술의 분야에서, 전자공학의 전문분야로부터 금속공학에 관계되는 기초, 혹은 응용연구관계자가 조속히 기초연구와 응용연구자료의 축적을 이루어가지 않으면 안된다는 것을 통감한다.

이 이온주입기술은 종래의 열처리기술과는 달리, 아주 섬세한 처리기술이라고 생각된다. 또, 반도체기술에의 응용을 위해서도 역시 대용량의 이온빔 소스의 개발이 필요하다. 어쨌든 가까운 장래에 여러 가지 가능성을 갖는 유력한 표면처리법이 될 것은 분명하다.

참고문헌

1. 難波 進 : 工業調査會, イオン注入技術 P. 162.
2. 赤松勝也 : 關西大學工業技術研究所, 技苑 (1983) 37, P. 41.
3. 日刊工業新聞 : (1985) 4, 29 P. 20.
4. 岩木正哉 : 觸媒, 24 (1982) 5, P. 537.
5. 丸紅ハイック(株) : 技術資料.
6. 日經産業新聞 : (1984) 7, 2 P. 1.
7. 清水 肇 : 觸媒, 24 (1982) 5, P. 365
8. 佐藤 守, 藤本文範 : 應用物理, 53 (1984) 3, P. 195.
9. 日新電機(株) : 技術資料.
10. 元島栖二 : 工業材料, 35 (1986) 5, P. 106.
11. 西口公之 : 熱處理, 26 (1986) 1, P. 88.
12. 岩木正哉 : 機能材料, 3 (1986), P. 5.
13. 岩木正哉 : 鐵と鋼, 71 (1985) 15, P. 24.
14. 吉田和夫, 石谷 炯 : 熱處理, 27 (1987) 6, P. 360.
15. 池永 勝 : プレス スクール, 14 (1985) 190, P. 53.

〈기술감좌〉

10. 금형 표면처리와 과제

부상하고 있으며, 내마모성, 내부착성, 내마멸성 등을 현저하게 향상시키는 각종 표면처리가 프레스 금형, 냉간 단조 금형, 플라스틱 금형 등에 광범위하게 사용되고

최근, 금형의 수명연장 방법으로서 표면처리가 크게

표 10-1. 표면처리기술의 분류

피막에 의한 표면피막법	화학증착법 (CVD법)	고온CVD법, 감압CVD법, 플라즈마CVD법, 저온CVD법, 광CVD법, 레이저CVD법	
	물리증착법 (PVD법)	진공증착법	진공증착법, 반응성증착법, 반응성전해증착법, 섬광증착법, 이온빔증착법
		이온플레이팅법	이온플레이팅법, 반응성이온플레이팅법, 활성화반응증착법, 고주파이온플레이팅법, 클러스터 이온플레이팅법, 아크방전형이온플레이팅법
		스퍼터링법	스퍼터링법, 반응성스퍼터링법, RF스퍼터링법, 고속스퍼터링법
	용사법	화염용사법, 폭발용사법, 아크용사법, 플라즈마용사법, 선풍용사법, 레이저용사법	
도금	전기도금, 화학도금, 용융도금, 복합도금		
표질면에 자의 신한의방개법	물리적방법	담금질	고주파담금질, 전해담금질, 화염담금질, 레이저담금질, 전자빔담금질
		합금화	레이저합금화, 전자빔합금화
		이온주입	
	화학적방법	침투화산법	침탄법, 질화법, 침류법, 침규법, 침보른법, 용융염법

표 10-2. 표면처리의 특성과 실용 두께

표면처리의 종류		특성					실용두께 (mm)
		내마모성	내소부성	윤활성	내식성	내산화성	
표면담금질(화염, 레이저 등)		C	D	D	D	D	0.5~5
확산	침탄	C	D	D	D	D	0.5~2
	연질화	B	C	D	C	D	0.01~0.05
	침류	C	B	A	E	D	0.003~0.01
	침류질화	B	B	A	C	D	0.01~0.05
	수중기처리	D	C	B	C	C	0.003~0.005
	보라이딩	B	B	D	B	B	0.05~0.2
	알루미늄이징	C	C	D	B	A	0.01~0.1
	크로마이징	C	C	D	A	A	0.01~0.3
탄화물코팅	A	A	D	A	A~D	0.005~0.015	
증착	CVD	A	A	D	A	A~B	0.005~0.015
	PVD	A	A	D	A	A~B	0.005~0.015
도금	크롬	B	B	D	B	B	0.01~1.0
	Ni-P	B	B	D	B	B	0.01~0.03
	분산	A	B	D	B	B	0.01~0.03
용사	금속	B~D	B~D	D	A~D	A~D	0.1~5
	자용성합금	B	B	D	B	B	0.1~2
	탄화물	A	A	D	B	B	0.01~0.5
	산화물	A	A	D	B	A	0.01~0.5
육성		B	B	D	A	B	1~10
화성처리(인산피막처리 등)		B	B	B~D	B~C	B	0.002~0.03
도장	유기계	EB~C	EB~C	E	B	E	0.05~2
	무기계			D	B	B	0.01~0.05

(주) 특성의 평가는 A, B, C, D, E의 순으로 나뉨.

표 10-3. (a) 소성가공 금형에 이용되는 주요 표면처리법

		도금		질화	보라이딩
		경질크롬	니켈-인		
표면층		Cr	Ni-P	Fe _{2,3} N Fe ₄ N	FeB Fe ₂ B
시행방법		수용액 증 전해	수용액 침지	① 가스 증 가열 ② 용융염 침지 ③ 감압 증 방전	① 분말 증 가열 ② 용융염 침지 ③ 용융염 전해 ④ 가스 증 가열
시행시의 모재온도(°C)	표면	50~80	60~100	500~600	600~1,000
	중심	상동	상동	①② 상동 ③ 200~500	상동
소요시간		1~5	1~5	① 100~200 ②③ 1~8	1~4
층두께 (μm)		20~50	20~50	10~20(회합물층)	50~500
변형발생의 위험성		소	소	중	대
국부피복		가능	가능	가능	가능
모재경화 열처리		처리전	처리전	처리전	처리후 또는 처리와 동시
후가공	필요성	때에 따라 필요	일반적으로 불필요	일반적으로 불필요	일반적으로 불필요
	방법	연삭, 래핑	래핑	래핑	래핑
두께 균일성		불량	양호	양호	양호
모재		각종금속, 비금속	좌동	철강	철강, Ni합금, 경Co합금, 초합금 등

표 10-3. (b) 소성가공금형에 이용되는 주요 표면처리법

		화학증착(CVD)	TD프로세서	용사	덧붙임
표면층		TiC	VC, NbC, Cr ₇ C ₃	Ni-Cr-B-Si Ni-Cr-B-Si WC	스테라이트 좌동
시행방법		가스 증 가열	① 용융염 침지 ② 용융염 전해 ③ 분말 증 가열	① 가스화염, 플라즈마에 의한 용융분말의 분사 후 재용해	분, 분말의 가스화염, 아크 등에 의한 용융금속의 육성
시행시의 모재온도(°C)	표면	900~1,200	800~1,200	1,000~1,100	강의 용점 근방
	중심	상동	상동	500~900	300~900
소요시간		4~8	0.3~8	피처리재의 크기에 따라 다름 · 좌동	
층두께 (μm)		5~15	5~15	500~2,000	2,000~5,000
변형발생의 위험성		대	대	대	대
국부 피복		불가능	가능	가능	가능
모재경화 열처리		처리후	처리와 동시	처리전 또는 처리시	처리전 또는 처리시
후가공	필요성	일반적으로 불필요	일반적으로 불필요	필요	필요
	방법	래핑	래핑	연삭	연삭
두께 균일성		양호	양호	아주 불량	아주 불량
모재		철강, Ni합금, 경 Co 합금, 초합금 등	좌동	각종금속, 비금속	각종 금속

있다. 금형의 성능은 제품의 정밀도, 생산비에 큰 영향을 미치고 있고, 금형의 재질과 그 재료에 적합한 열처

리와 표면처리의 선택[1~13]이 아주 중요하다. 앞으로 더욱 더 금형에 요구되는 것은 고성능화이다.

표 10-4. 각종 공구의 기본적 요건

공구의 종류	주요 요건	기타 요건
철삭공구	내마모성, 적열경도	인성
전단공구	내마모성, 인성	불변형성, 담금질의 용이성
성형공구	내마모성	인성, 피질삭성
인발공구	내마모성	불변형성
압출공구	적열경도	내마모성, 인성
압연공구	내마모성	담금질의 용이성, 인성
타격공구	인성	내마모성
측정기구	내마모성, 불변형성	담금질의 용이성

즉, 고속화, 고정밀도화, 고강도화 등으로서 금형재료도 고급화되는 경향이다. 예를 들면, 탄소공구강, 합금공구강, 고속도공구강, 초경합금(WC-Co계)도 서서히 고급재료로 옮겨가고 있다. 이러한 재질의 변화에 따라 열처리와 표면처리도 다르게 되어 그 종류도 아주 많아지고 천차만별이다.

표면처리를 하면 원래 재료가 가진 특성보다 우수한 특성을 나타내게 되므로 자재 절약과 에너지 절약의 관점으로부터도 유효한 수단이라고 말할 수 있다.

표면처리법은 피막에 의한 피복법과 표면자신의 조성의 변화에 의한 방법으로 대별된다.

표 10-1에 표면처리의 종류와 분류를 나타내었다. 또 표 10-2와 표 10-3(a)(b)는 각종 표면처리법의 특성을 비교한 것으로서, 이러한 표면처리와 열처리법을 만족하게 활용하려면 각각의 특성을 잘 이해 할 필요가 있다.

일반적으로 철강재료의 열처리는 내마모성, 인성(내충격성), 내열성(적열경도), 내식성, 피가공성 등의 향상 또는 개선을 목적으로 해서 실시되고 있으며, 열처리에 수반되는 문제점으로는 열처리변형이 작을 것, 담금질의 용이함, 경제성 등이 있다. 그러나 이러한 목적과 문제점을 완전히 만족시키는 것은 곤란한 경우가 많기 때문에 피처리재의 필요조건을 파악하는 것이 중요하다. 즉, 내마모성과 인성과 같이 상반되는 성질이 많으므로, 처리법 및 처리조건 선정을 위해서는 먼저 어떤 조건을 더 중시할 것인가를 결정해야 한다.

표 10-4는 JIS 해설서로부터 발췌한 각종 공구의 기본적 요건을 수록하고 있다. 각각의 경우를 금형으로 바꿔서 생각하면 여러 가지 금형의 필요조건을 개략적으로 파악할 수 있다.

그리고 그림 10-1은 공구강 선정의 기본 도해로서 SK3을 기본공구강으로 한 경우의 각종의 선정방법을 나

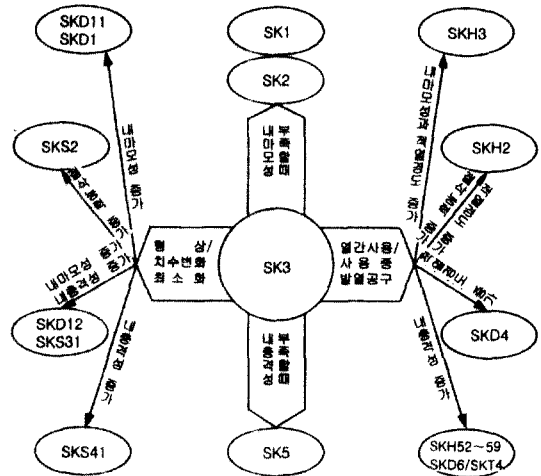


그림 10-1. 공구강 선정의 기본 도해

타낸 것이다. 즉, 표 10-4와 그림 10-1은 켈칭과 템퍼링을 실시해서 사용할 때의 공구강 선정법이지만, 이것은 표면처리에 있어서 모재로 되는 공구강에도 적용가능한 것은 당연하다.

금형에 요구되는 조건은 다음과 같다.

- (1) 내마모성이 우수할 것
- (2) 내압강도가 클 것
- (3) 인성이 높을 것
- (4) 열처리 변형이 적을 것
- (5) 연화저항이 클 것(적열경도가 클 것)
- (6) 경화성이 우수할 것
- (7) 피로강도가 우수할 것
- (8) 내식성이 우수할 것
- (9) 피삭성과 연삭성이 양호할 것
- (10) 표면처리성이 양호할 것

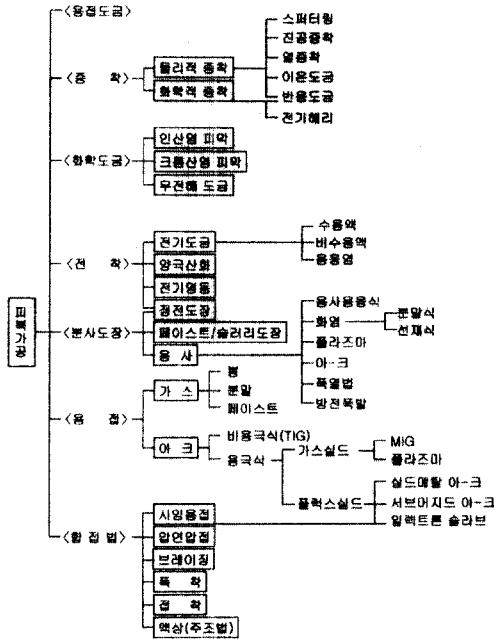


그림 10-2. 주요한 피복가공 과정

10-1. 피막에 의한 표면피복법

피막에 의한 표면피복법으로서는 오래 전부터 활용된

방법으로서 도금법이 있다. 최근에는 화학증착법(CVD), 물리증착법(PVD) 등의 소위 증착법에 의해 초경질피막을 금형표면에 피복하는 방법이 주목을 받고 있다. 그 외는 용사법 등이 있고, 어느 처리법에 있어서도 금형의 치수는 피막의 두께로 인하여 두꺼워지기 때문에 치수정밀도의 관점에서부터 미리 고려해 둘 필요가 있다.

그림 10-2는 상세한 피복처리법의 분류와 가공과정을 나타낸 것으로서 여러가지 분류방법이 있지만 기본적으로는 용용도금, 증착, 화학도금, 전착, 스프레이, 용접, 합접법 등이 있다. 증착법에 관해서는 이미 서술했으므로 여기서는 증착처리에 의해 얻어질 수 있는 피복물질의 종류와 성질에 대해서 표 10-5에 나타낸다. 또 그림 10-3에서는 켈칭과 템퍼링을 실시한 강재와 비교할 때, 탄화물, 분화물이 극히 높은 경도를 나타내는 것을 확인할 수 있다.

용사법은 용융상태 혹은 반응용융상태로 가열된 입자 또는 분말을 고속으로 기판표면에 충돌시켜서 피복하는 표면처리법이다. 그림 10-4는 플라즈마 용사법 및 레이저 용사법의 원리를 나타낸 것이다. 플라즈마 용사법은 음극과 양극과의 사이에 아-크를 발생시켜, 후방으로부터 공급되는 작동가스가 아-크에 의해 초고온인 플라즈마로 되어 노즐로부터 분출되어 플라즈마 제트로 된다.

표 10-5. 피복물질의 물리적 성질

분류	조성	결정구조	마이크로 경도(kg/mm ²)	비중(g/cm ³)	용점(°C)
탄화물	BiC	사방육방정	4,900~5,000		2,350
	SiC		3,000~3,340		2,830
	TiC	면심입방정	2,980~3,800	4.9	3,180
	VC	"	2,888	5.7	2,830
	HfC	"	2,700	12.7	3,890
	ZrC	"	2,600	6.5	3,530
	NbC	"	2,400	7.8	3,480
	WC	육방정	2,000~2,400	15.8	2,730
	TaC	면심입방정	1,800	14.5	3,780
	Mo ₂ C	육방정	1,800	9.2	2,400
	Cr ₃ C ₂	사방정	1,300	6.7	1,980
질화물	TiN	면심입방정	2,400	5.4	2,930
	VN	"	1,500	6.1	2,050
	HfN	"	2,000	14.0	2,700
	ZrN	"	1,900	7.3	2,980
	NbN	"	1,400	8.4	2,300
	WN				
	TaN		1,300	14.1	3,090

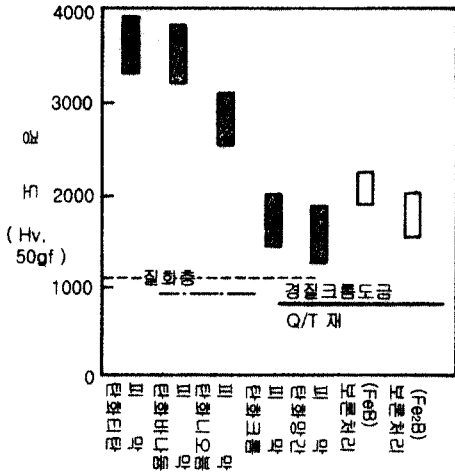


그림 10-3. 각종 피막과 경도

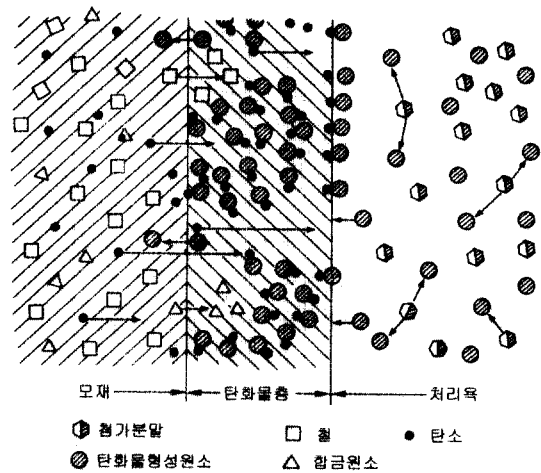


그림 10-5. TD 프로세스의 탄화물 형성기구 모델

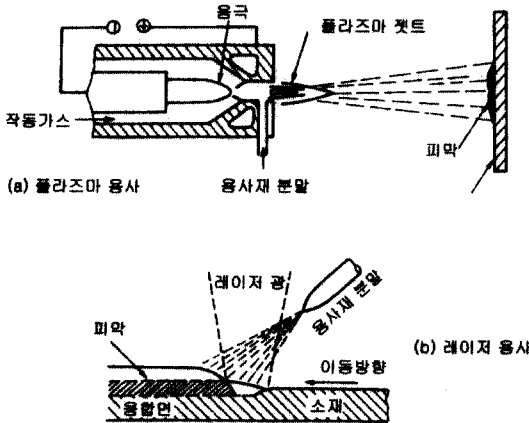


그림 10-4. 용사법의 원리도

한편, 레이저 용사법은 레이저 빔으로 기판표면을 용융시켜 그 부분에 부착되는 용사재료의 분말을 가열해서 일부를 용융시켜 피막으로 한다. 종래, 용사기술은 금형 등의 보수용에 흔히 이용되었지만, 이제부터는 용사기술의 고도화에 따라서 응용범위가 급속하게 확대될 것이라고 생각된다.

10-2. 표면 자신의 개질에 의한 방법
 표면 자신을 개질하는 방법에는 물리적인 방법으로서 켄칭, 합금화, 이온주입법 등이 있고, 화학적 방법으로서 침투확산법이 있다. 이 중에서도 가장 일반적인 방법은 켄칭법으로서 강의 경우는 이 방법이 기본이며, 켄칭법과 다른 표면처리법을 조합하는 소위 복합처리가

유효한 수단이라고 생각된다.
 표면 자신을 개질하는 방법은 표면피막이 벌크재 내부에 침투하여 확산층과 화합물을 형성하기 때문에 피막 자체의 치수변화는 피막법에 비해 적다.

침투확산법은 지금까지도 폭넓게 적용되고 있으며, 그 중에서도 비교적 실적이 많은 처리법은 질화법이다. 이 처리의 이점은 처리온도가 500~600°C로 낮기 때문에 고속도강, 합금공구강의 모재 경도의 저하와 치수변화에 영향을 미치지 않고, 또한 질화된 표면경도는 질화물의 생성에 의해 Hv 1000 이상으로 되어, 여러 가지 금형에 채용되어 금형의 수명연장에 효과를 발휘하고 있다. 또 용융염법도 간과할 수 없는 처리법으로서 가장 확립된 방법으로서 TD(Toyota Diffusion Process)법이 있다. 이 처리법은 주로 바나듐탄화물(V₂C)을 표면에 확산침투시켜 금형의 장수명화에 큰 성과를 나타내고 있다. 이 처리가 적용되는 금형재료로서는 주로 비교적 탄소함유량이 많은 합금공구강, 예를 들면, SKD11이 있다. 그림 10-5는 TD 프로세스의 탄화물 형성기구의 모델이다. 이 그림으로부터 알 수 있듯이 모재에 탄소가 존재하는 경우에, 모재 표면의 탄소와 처리육 중의 첨가원소가 결합해서 탄화물 층을 형성한다. 대형 제품이나 양산되고 있는 조리개 금형 등에 아주 많이 사용된 실적이 있어서 확립된 처리법이라고 할 수 있다.

강의 표면에 탄소를 침투시키는 침탄법은 종래 저탄소 붕소강의 표면경화처리로 이용되었지만, 최근에는 합금공구강과 고속도강에 과잉침탄시켜 표면경도를 더욱 상승시켜 금형수명을 연장시키는 과잉침탄법이 주목받게

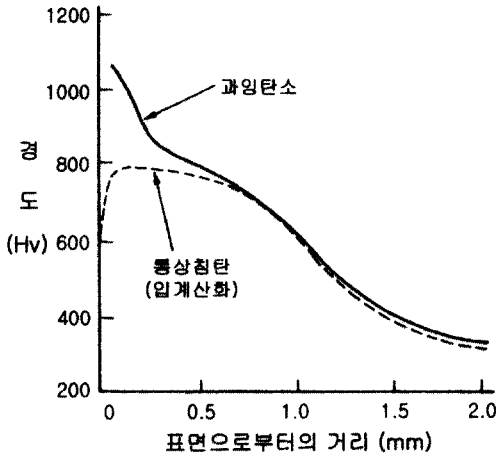


그림 10-6. 침탄층의 단면경도 분포곡선의 한 예

되었다. 그림 10-6은 침탄층의 단면 경도분포곡선의 한 예이다.

10-3. 앞으로의 문제점과 동향

금형재료에 있어서는, 새로운 금형재료의 개발과 동시에 그 재료에 적당한 표면처리·열처리를 실시하여, 요구조건을 충족시키는 것이 아주 중요하다고 생각한다. 현재는 WC 초경합금에 있어서도 재료의 표면에 경질세라믹 피막을 증착시켜 사용하는 시대이다. 신소재 개발의 동향을 보면, 금형재료에도 큰 변화가 불어닥치고 있다고 생각된다. 예를 들면, 분말 하이스는 이미 실용 단계에 접어들어 있으며, 고인성 뉴세라믹인 질화규소(Si₃N₄), 내열성을 갖는 탄화규소(SiC) 등의 응용도 그렇게 멀지 않다. 뿐만 아니라 최근에는 꿈의 표면처리로서 다이아몬드상 탄소 및 질화보론 박막의 코팅기술도 물리적 증착 등에 의해 연구개발되고 있다. 아직은 모

		두께 (mm)					
		0	0.001	0.01	0.1	1	10
표면가공경화		—					
표면경화	고 주 파	—					
	레이저	—					
	일렉트론	—					
이온주입		—					
확산	침탄	—					
	질화, 연질화	—					
	침투질화	—					
	침투	—					
	수증기처리	—					
	침보론	—					
	침크롬	—					
	TD 프로세스	—					
화학증착(CVD)		—					
물리증착(PVD)		—					
도금		—					
응용	아-크롬사	—					
	화염용사	—					
	플라즈마용사	—					
	재용용	—					
	특발용사	—					
성공		—					
방전경화		—					

그림 10-7. 각종 표면처리법의 두께 비교

재와의 밀착성에 문제가 남아 있지만, 가까운 장래에 개선될 것이고, 표면처리·열처리의 방법도 크게 변화될 것으로 예상되며, 초경질의 박막제조기술의 개발이 당면한 과제로 생각된다.

그림 10-7은 각종 표면처리법에 있어서 처리 두께를 비교한 자료이다.

또 표 10-6은 금형이나 공구 등에 이용되고 있는 대표적인 경질피복처리법의 종류별 특성을 비교한 자료이다. 이 표에서도 알 수 있듯이, 용도와 목적에 맞는 처

표 10-6. 각종 경질피복 처리법

방법/분위기	피복물질	모재온도	석출속도	밀착성	피복성	피복면	변형	비용		공해대책
								설비비	가공비	
화학증착 반응성 가스	탄화물, 질화물 붕화물, 산화물	900~1,100°C	B	A	A	A	B	B	B	용이
물리증착 감압, 회박가스	탄화물, 질화물 산화물, 규화물	550°C이하	A	B	C	A	A	C	A	용이
염용법, 용융염욕	탄화물, 붕화물	800~1,100°C	B	A	A	B	B	A	B	용이

(주) A: 특히 양호 (변형 적음, 비용 적음)
 B: 양호 (변형 다소 많음, 비용 보통)
 C: 나쁨 (변형 많음, 비용 많음)

표 10-7. 고속도공구강 공구의 표면처리

처리 종류	처리 명	내 용	주 효과	
			경도	윤활
화학 피복	MoS ₂ 피복	MoS ₂ 의 미분말을 글리세린 중에 현탁시켜서, 표면을 활성화시킨 공구표면에 MoS ₂ 를 흡착시킨다. MoS ₂ 수지피복도 있음.		○
	경질크롬도금	크롬산을 주체로 한 황산 또는 불화물을 첨가한 혼합액 중에서 공구표면에 크롬을 도금한다.	○	○
	니켈합금도금	Ni과 P을 동시에 화학도금 할 때, 저온가열에 의한 Ni ₃ P의 석출에 의해 경화시킨다. Ni-B의 화학도금도 있음.	○	
	유화처리	유황화합물을 함유한 수용액(150°C) 또는 로단염계액(180~190°C) 중에서 공구표면에 S를 화학반응시킨다.		○
저온 침투 확산	수증기처리	500~550°C의 수증기 중에서 가열하여 공구표면에 Fe ₃ O ₄ 의 피막을 생성시킨다.		○
	질화처리	550°C 전후의 NH ₃ 및 침탄성가스 중에서 연질화한다. 이온질화에서는 거기에 N ₂ 가스도 사용되어 연질화한다.	○	
	침유질화처리	550°C 전후의 CN가스와 H ₂ S의 혼합가스 또는 CN 및 유화물을 포함하는 염욕중에서 공구표면에 유질화층을 생성시킨다.	○	○
경질 피복	산질화처리	550°C 전후의 NH ₃ 와 H ₂ O 가스중에서 산화와 질화를 동시에 실시한다.	○	○
	화학증착	예) TiCl ₄ 와 탄화수소의 혼합가스 중에서 900~1200°C로 가열하여 공구에 TiC를 피복한다. 탄화물, 질화물, 산화물 처리 가능.	○	
	염 용법	예) 붕사와 탄화물원소를 함유한 첨가물로부터 800~1100°C의 염욕중에서 공구에 VC, TiC 등을 피복한다.	○	
	방전경화법	공구를 -, 용착재료(WC, TiC)를 +극으로 하고, +극을 진동방전시켜 공구표면에 경질피복한다.	○	
	성금(鍍金)	전호(電弧)에 의해 경질합금을 공구표면에 용해부착시킨다. 전자빔으로 용착시키는 방법도 있음.	○	
	스퍼터링	저진공의 글로우 방전으로 음극경질재료(TiC 등)를 스퍼터링시켜서 공구표면에 부착시킨다.	○	
	이온플레이팅	예) Ti, Al 등을 용융증발시켜 저진공 글로우 방전 또는 전자흐름 중에서 C, N, O 등과 함께 이온화시켜서 공구표면(음극)에 TiC, TiN, Al ₂ O ₃ 등을 반응생성시킨다.	○	

리법을 선택하지 않으면 안된다.

표 10-7은 고속도공구강에 현재 실용화되어 있는 표면처리의 종류, 내용 및 주된 효과를 정리한 것이다. 담금질과 뜨임 처리를 실시한 고속도강의 성질은 내마모성, 고온경도, 인성이 우수하여, 고급 금형재료로 사용되고 있지만, 적절한 표면처리를 실시함에 따라서 특성이 대폭 개선된다.

이러한 열처리를 포함한 표면처리 전체의 동향을 예측하는 것은 극히 곤란하지만, 신소재 혹은 새로운 표면처리의 개발은 더욱 활발해 질 것이다. 그리고 금형과 기계부품의 고성능화가 더욱 더 요구되는 지금, 표면처리의 적절한 선택은 금형기술에 있어서 아주 중요하다고 생각된다.

참고문헌

1. 鹿田順生 : プレス技術, 23 (1985) 8, P. 18.
2. 浜小路正博 : 熱處理, 27 (1987) 2, P. 70.
3. 大黒 貴, 座間正人 : 機械技術, 32 (1984) 9, P. 44.
4. 新井 透 : プレス技術, 22 (1984) 1, P. 31.
5. 村上常司 : 工業材料, 32 (1984) 3, P. 18.
6. 田野崎康夫, 服部光男 : 機械技術, 27 (1979) 13, P. 67.
7. 松永正久 : 機械技術, 32 (1984) 9, P. 26.
8. 新正 透, 太田幸夫 : プレス技術, 23 (1985) 8, P. 23.
9. 阿部吉彦 : 機械技術, 32 (1984) 9, P. 31.
10. 大和久重雄 : 金屬, (1983) 11, P. 1.
11. 池永 勝, 木下博文 : 機械技術, 27 (1979) 13, P. 51.
12. 山川哲央 : 精密機械, 39 (1973) 9, P. 25.
13. 池永 勝 : プレススクール, 12 (1983) 157, P. 5.