

금속표면처리

Journal of the Metal Finishing Society of Korea
Vol. 18, No. 1, May, 1985

〈기술해설〉

Mechanical 도금

함용목* · 김조웅** · 박광자** · 박정일*** · 박성신****

국립공업시험원

1. 머리말

Mechanical 도금은 전기도금과는 달리 전해를 전혀 사용하지 않으며 또한 용융도금에서와 같이 높은 열을 사용하지 않고 기계적 에너지와 화학작용에 의하여 도금하는 방법으로 1970년 초에 미국 3M사에서 처음 개발되었다. 이 도금방법은 회전바렐 중에 철소지의 피도금처리 부품, 유리구, 물, 화학약품 및 금속분말을 투입하여 바렐을 회전시킴으로서 회전바렐로부터의 기계적 에너지가 유리구를 통하여 금속분말에 가해져 부품표면에 냉각압접(cold welded)되어 금속피막이 형성된다. 도금방법은 기본적으로 같으나 도금 두께에 따라 얇은 도금(약 20 μm 이하)은 Mechanical plating이라 하고 두꺼운 도금을 Mechanical Galvanizing(수십 μm 이상)이라 한다. 현재 Mechanical 도금의 사용 용도를 보면 자동차 철도운송관계, 건축도목관계, 전력통신관계, 선박어업관계, 석유공업관계, 펄프공업관계들의 안정성이 요구되는 Bolt, Nut, Screw, Spring, washer, Creep 및 Fastener 등의 각종 작은 부품에 사용된다.

Mechanical 도금 방법으로는 아연, 주석, 카드뮴, 납, 구리 및 아연-카드뮴합금, 아연-주석합금, 주석-카드뮴합금 등의 도금이 가능하다.

Mechanical Galvanizing에서는 아연도금을 주로 하는데 건설산업의 Fastener에 대한 요구 사항을 만족시키기 위해 개발되었으며 이 도금 방법을 이용하여 300~500g/m²의 부착량을 갖는 아연 피막을 얻을 수 있다.

Mechanical 도금의 특징을 보면

- 1) 수소취성이 전혀 없다.
- 2) 도금 두께가 균일하다.
- 3) 도금 두께의 조정이 간단하다.
- 4) 도금 후의 후처리가 용이하다.
(크로메이트, 도장, 윤활제 처리)
- 5) 동일 장치로 합금, 이중도금이 가능하다.
- 6) 도금 액의 유지 관리가 필요없다.
- 7) 내식성이 우수하다.
- 8) 성에너지, 고효율의 도금법이다.
- 9) 폐수처리가 비교적 간단하다.

2. 도금 공정

Mechanical 도금은 일반적으로 탄소강, 스테인레스강, 소결금속, 질화강, 아연다이캐스트 등의 금속 소지를 갖는 것으로 부품 1개의 길이가 약 150

* 무기화학과 (공학박사)
** 무기화학과 (공업연구원)
*** 무기화학과 (공업연구사)
**** 화학시험부장 (공학박사)

~200mm, 부품 1개의 중량이 약 400g 정도 까지인 작은 부품류를 유리구와 혼합하여 상온에서 도금 작업하는 모듬처리(Batch Treatment)공정으로 되어있다. 보다 크고 무거운 부품을 도금하기 위해 유용한 방법들이 개발되고 있으며 길이가 약 1000mm 이상 되는 나사봉(Threaded Rod)같은 것도 Mechanical 도금이 가능하나 경제적인 면을 고려해야 한다.

Mechanical 도금 공정은 전처리 → 표면조정 → flash 도금 → 도금 → 후처리의 간단한 연속 작업 공정이다. Mechanical 도금 공정은 표 1 과 같다.

표면조정	부품, 유리구, 물의투입	5분
	표면조정	10분
flash 도금	동-flash 도금	8분
	도금 촉진제 첨가	2분
	금속 flash 도금	5분
도금	도금	15분
후처리	수세, 부품과 유리구 분리	10분
	후처리	5분

표 1. Mechanical 도금 공정

먼저 피도금체의 표면적을 계산하여 처리약품의 량, 유리구의 종류비율과 량을 결정하여 바렐에 넣는다. 물은 피도금체와 유리구가 잠길 정도의 량을 첨가한다. Mechanical 도금도 전기도금과 같이 전처리를 하게 되는데 거의 모든 철강 부품은 보통 량의 다소는 있으나 기름, 그리스가 성형시 생성물로 표면에 덮혀있어 부품을 바렐에 넣기 전에 이런 생

성물을 제거하여야 한다. 탈지는 Mechanical 도금도 전기도금과 같이 전처리를 하게 되는데 거의 모든 철강 부품은 보통 량의 다소는 있으나 기름, 그리스가 성형시 생성물로 표면에 덮혀있어 부품을 바렐에 넣기 전에 이런 생성물을 제거하여야 한다.

탈지는 Mechanical 도금 공정에서 하지않고 별도의 장치에서 실시하며 가벼운 녹은 그대로 공정에서 처리한다. 유리구는 0.15~5.7mm 까지 6 종류로 간단한 구조의 피도금체는 2~3종류 복잡한 구조의 피도금체는 4~5 종류를 혼합하게 되며 피도금체와 유리구의 첨가 비율은 1:1 정도로 투입된다. 유리구 혼합물은 문지르는 작용을 하여 표면조정 공정에서 산화물 제거와 무거운 피도금체에 대하여서는 쿠션작용을 하며 피도금체의 모서리 부위나 날카로운 부분이 파손되는 것을 최소화하는 작용도 한다. 더우기 유리구는 표면장력에 의해 납작한 표면들이 서로 달라 붙지 않도록 분리해서 움직이도록 도와준다. 또한 도금약품 및 기계적 에너지를 구멍이나 오목한 곳까지 전달해 주는 역할을 한다.

전처리가 끝난 피도금체는 바렐에 넣어 표면조정을 하게된다. 표면조정제는 인히비터와 계면활성제가 첨가된 황산 50%의 갈색 저 점도 액체로 피도금체 표면적 당 첨가량은 54ml/m²로 표면조정 시간은 7~10분이 소요된다. 표면조정 공정이 끝나면 밀착성을 높이기 위한 동 flash공정을 한다. 이 공정은 전기도금의 스트라이크 도금과 같은 역할을 하는 공정으로 부품 표면에 아직 남아있는 미량의 금속 녹과 산화물 제거를 함과 동시에 약품 중의 함유된 동분을 부품 표면에 석출시킨다. 동 flash제는 인히비터와 동 성분이 첨가된 20% 황산 용액으로 첨가량은 54ml/m²이며 작업시간은 5~10분 정도이다. 표면조정과 동 flash공정이 끝나면 도금 촉진제의 첨가로 Mechanical 도금 할 금속을 환원시키고 도금 표면을 활성화시킨다. 촉진제는 알데히드류가 첨가된 황색을 띤 미분말로 첨가량은 5.4g/m²이다. 이상과 같은 공정들로 Mechanical 도금이 될 수 있는 환경이 마련되면 입도 직경이 4~5 μm 정도인 금속 분말이 첨가되고 이 금속 분말들은

피도금체와 유리구의 압력 하에서 피도금체 표면에 냉간압접(Cold welded)되어 Mechanical 도금 층을 얻는다. 금속 분말을 첨가할 때 한번에 금속 분말을 첨가하면 스폰지형의 금속피막이 석출되어 밀착성 및 기타 물성이 나빠지므로 금속 분말을 여러번 나누어 소량씩 첨가하여야 한다. Mechanical 도금 시간은 $15\mu\text{m}$ 을 기준하여 50분 정도 소요되며 두꺼운 도금을 할 경우, 금속 분말의 추가 첨가에 따른 도금 시간만이 추가 소요 됨으로서 짧은 시간에 전기도금으로는 얻을 수 없는 두꺼운 도금을 할 수 있다.

전처리와 후처리의 폐수처리는 일반 전기도금과 같으나 본 도금 공정이 모듬처리 공정이므로 전기도금에서와 같이 단계 별 수세가 필요 없고 도금액이 피도금체를 통해 묻어 나오는 것도 없으며 소량의 첨가제와 계산된 금속 분말 만이 첨가되므로 폐수처리는 비교적 간단하다. 청화물 같은 독성이 높은 약품을 사용하지 않고 도금처리를 거의 밀폐된 장치 내에서 행하기 때문에 전기도금과 같이 도금 공정에서 유독 가스가 발생하지 않아 작업자의 안정성과 작업 환경이 좋다. 모든 처리약품, 금속 분말은 각 batch에서 소비되기 때문에 도금 욕의 유지 관리나 처리약품류의 분석이 필요없다. 또한 전기도금 보다 도금 공정이 짧고 장치 설치 면적도 좁아서 장소를 많이 차지하지 않는다.

3. 장 치

Mechanical 도금 장치는 기름과 녹을 처리하는 예비처리 공정장치, 전처리된 부품을 옮기는 승강기, 다면체의 개구 회전바렐, 바렐을 회전시키는 모터 장치 및 바렐 경사도 조정 장치 그리고 피도금체와 유리구를 분리하는 분리기로 구분되어 있다. 바렐의 크기는 28~850ℓ, 용량은 900~1,800kg/Load 이다. 도금 바렐은 생산성을 높이고 조작을 쉽게 하기 위해서 입구가 개방되어 있다. 도금 조작이 끝나면 도금된 피도금체와 유리구는 바렐에서 진동호

퍼(Surge Hopper)로 옮긴다. 호퍼의 용량은 충분히 커서 전량을 2~5분 동안에 옮겨진다. 도금 바렐이 비면 새로운 피도금물과 유리구를 넣어 다시 도금을 시작하고 그 동안 처음에 도금된 물건과 유리구를 분리 작업한다.

여기서 도금 바렐의 경사도는 15° 가 가장 좋고 바렐 회전수는 15~20rpm/분 정도이다. 유리구와 도금체의 분리에는 진동 분리기나 자기Belt 또는 이 두 가지를 혼합시킨 것을 이용한다. 도금체에서 분리된 유리구를 배출구에 넣으면 압출공기나 굴착시스템(Auger system)에 의해 옮겨져 다음 도금에 다시 이용하게 된다. 분리 작업이 끝난 도금체는 건조하거나 후처리를 한다.

4. 도금 특성

Mechanical 도금의 가장 중요한 특징은 수소취성이 일어나지 않는 것이다. 이 수소취성 발생의 일반적인 이론은 전처리 과정과 전기도금 과정에 따른 용액 중의 수소이온 혹은 물 분자가 전자를 받아 흡착 수소 원자로 되어 흡착 수소원자의 대부분은 서로 결합하여 대기중으로 방출되지만 그 일부가 피도금체 소지 중에 침입된다. 이 침입된 흡착 수소 원자들이 내부 압력에 의해 수소 농도가 높아져 수소 분자로 되고 이 수소 분자들이 금속 결합이나 작은 Crack들의 상호작용에 따른 응력 집중으로 그림 1에서와 같이 수소취성을 일으킨다.

그러나 Mechanical 도금의 경우, 그림 2에서와 같이 전기도금 층을 콘크리트 면이라 볼때 Mechanical 도금 층은 자갈 면이라 볼 수 있어서 금속 소지의 수소 원자들이 수소 분자로 되어 도금 층으로 모두 빠져나가기 때문에 수소취성이 전혀 일어나지 않는다.

Mechanical 도금과 전기도금의 수소취성 시험결과는 표 2와 같다.

Mechanical 도금도 inhibitor 를 첨가하지 않고 산 세를 하여 도금하면 도금한 직후는 수소취성이 일

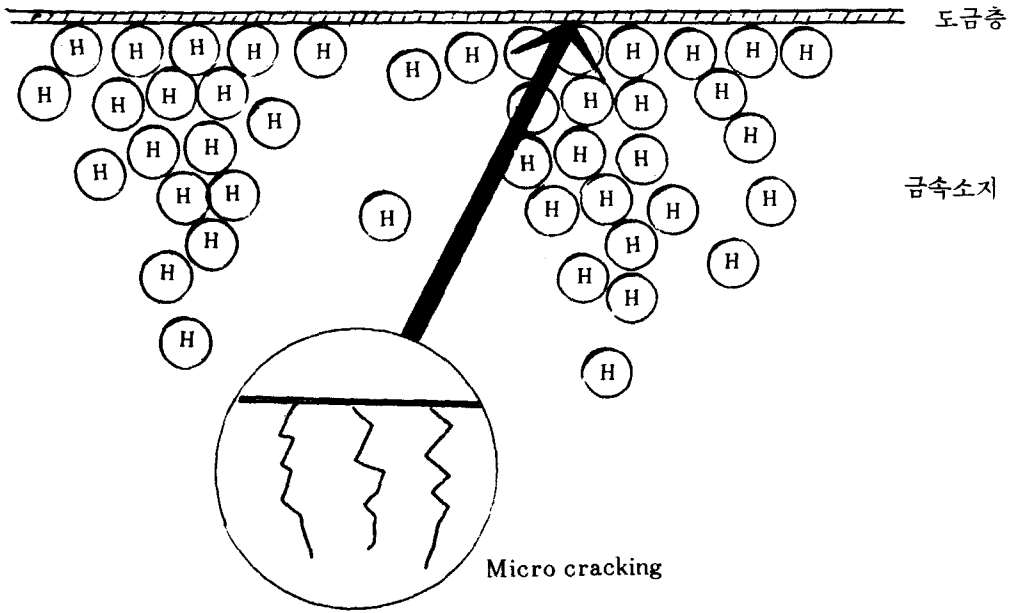


그림 1. 전기도금의 수소취성

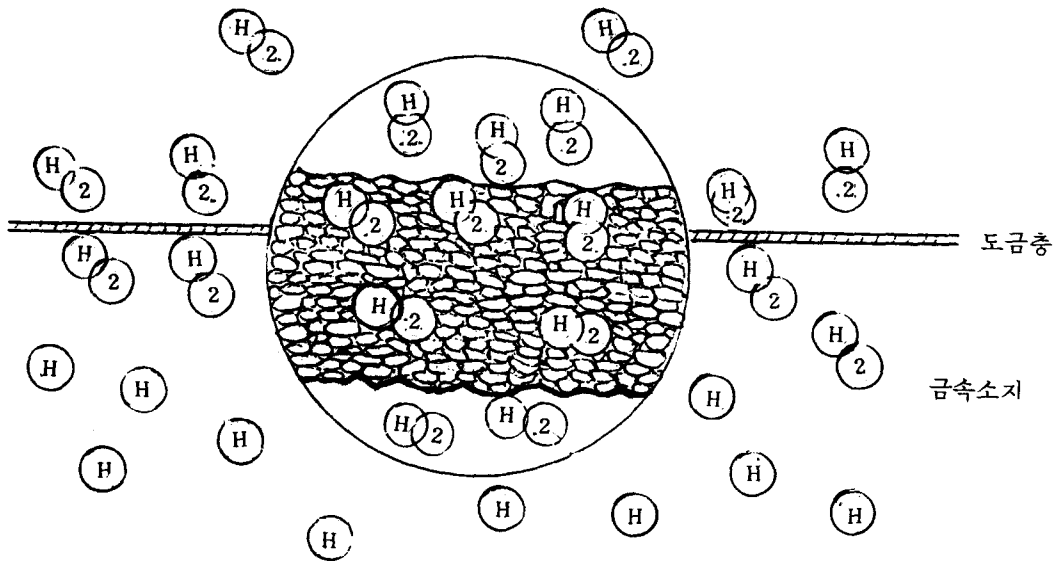


그림 2. Mechcnenal 도금

표 2. Mechanical 도금과 전기도금의 수소취성 시험 결과

처리명	전 기 도 금 Baking하지 않은 경우 파괴율 (%)	전 기 도 금 도금 1시간 후에 200℃에서 4시간 Baking한 경우 파괴율 (%)	Mechanical 도금 도금후 24시간 파괴율 (%)
Washer	71 (17/24)	58 (14/24)	0 (0/10)

어나나 도금 후 24시간이 지나면 수소취성은 일어나지 않는다. 그러나 inhibitor를 첨가하여 계세한 후 Mechanical 도금을 하면 금속소지의 수소취성과

도금층의 수소취성은 시간에 관계없이 전혀 일어나지 않는다. 산세에 따른 Mechanical 도금의 수소취성 시험 결과를 표 3에 나타냈다.

표 3. Mechanical 도금의 산세에 따른 수소취성 시험 결과

처리 방법 방치 시간	표 준 산 세 후 Mechanical 도금파괴율 (%)	2 배의 농도에서 산세한 후 Mechanical 도금파괴율 (%)	2 회 산세를 한 Mechanical 도금파괴율 (%)	3 배의 농도에서 산세 후 Mechanical 도금파괴율 (%)	inhibitor 첨가, 표준 산세 후 Mechanical 도금파괴율 (%)
2 시간	80	80	100	100	0
24시간	0	0	0	0	0
48시간	0	0	0	0	0
72시간	0	0	0	0	0

그러나 전기도금의 경우, inhibitor를 첨가하면 도금 전의 소지에 따른 수소취성은 발생하지 않으나 그 위에 전기도금을 하면 도금 과정에서 발생한 수소 분자들에 의해 도금층에 수소 분자들이 남아 있어 baking을 하여도 방치 시간에 관계없이 수소취성이 나타난다. inhibitor 첨가에 따른 전기도금의 수소취성 시험 결과를 표 4에 나타냈다.

Mechanical 도금의 균일 피막성에 있어서도 도금 두께 편차가 전기도금과 반대의 현상을 나타내 날카로운 곳이나 돌출된 부분은 얇고 구멍이나 홈 등의 오목한 곳은 충분히 두꺼운 두께의 도금이 되기 때문에 전기도금으로는 피할 수 없는 부품의 凹부, 凹부에서의 두께 불균일, 모서리 들레 불량 등이 해소된다. 용융도금에서 발생하는 피도금체끼리 서

표 4. inhibitor첨가에 따른 전기도금의 수소취성 시험 결과

방치 시간	처리 방법	산 세 만 한 경 우	전기도금 후 baking 하지 않음	전기도금 후 1시간 방치, 204℃에서 4 시간 baking	전기도금 후 24시간 방치, 204℃에서 4 시간 baking
	파괴율 (%)		파괴율 (%)	파괴율 (%)	파괴율 (%)
0 시간		0	100	100	100
24 "		0	100	100	100
48 "		0	100	100	100
72 "		0	100	100	100

로 엉켜 붙거나 나사 홈의 메워짐에 따른 정밀도 문제도 발생하지 않는다. Mechanical도금 두께의 균일성은 ±10% 정도이다.

Mechanical도금된 아연이나 카드뮴도금의 내식성은 두께가 같은 경우 다른 도금 방법에 의한 것과 일반적으로 같거나 우수한 내식성을 갖는다. Mechanical아연 도금의 내식성 시험 결과를 표 5에 나타냈다.

Mechanical도금은 하나의 도금 장치에서 같은 순서로 여러가지 금속 분말을 단순히 첨가하는 것만으로도 여러 금속의 다층도금(Sand wich도금)이 쉽게 얻어질 뿐 아니라 두가지 이상의 금속 분말을 혼합하여 복합도금을 만들 수도 있다. 또한 이들 방법 한가지 또는 양쪽 모두 이용하여 소지 금속의 내식성 향상, 표면외관의 향상, 변색방지 및 윤활성능 등 특수 용도에 맞는 더 좋은 피막을 연속 만들

표 5. Mechanical아연 도금의 내식성 시험 결과

처리방법	크로메이트	고 탄소 강 · 아 연 (8 μm)					
		크로메이트(무광)			크로메이트(광택)		
		30초	50초	70초	90초	20초	40초
부 식	미 처 리	침적	침적	침적	침적	침적	침적
백색부식 생성물이 생길때 시간	<24	144	144	144	168	72	96
소지 부식이 생길때 시간	96	264	>312	>312	>312	120	144

염화나트륨 4%, 염수분무

수 있다.

5. 맺 음 말

Mechanical도금에 대한 외국의 경향을 보면, 미국에서는 군사규격 MIL-C-81562A(1973)이 제정

되어 기존 용융아연도금이나 전 아연도금등에 규격을 적용하고 있으며 미국 46개주가 관련하는 구조물에 관한 연구위원회, 고속도로관리청 그리고 제너럴 모터스사를 위시하여 100여개 제조업체가 받아들이고 있다. 일본의 경우는 아직 공업규격이 제정되어 있지는 않으나 몇몇 도금업체에서 전문적으

로 실시하고 있다.

우리나라도 자동차, 항공기, 선박 같은 수송기계나 각종 공업기계 그리고 대형 건축등에 사용되는 fastener들의 고내충격성, 고장력성에 따른 수소취성에 의한 안정성 문제와 정밀도 문제등에 관한 관련 분야의 인식과 국제 경쟁력을 높이기 위한 국내 기술 보급이 시급하다. 표면처리 관련 연구소나 학

계에서도 재료 중의 수소 함유량을 측정하는 로렌스 gauge, 전기화학측정 등에 따른 제반 여건의 조성과 Mechanical도금이 상온에서 수소취성 제거되는 현상을 좀더 깊이있게 연구되어 Mechanical 도금의 이론이 확립되어야 한다. 또한 아직 Mechanical도금으로 미 개발된 귀금속 도금이나 각종 특수 합금에 대한 연구도 요망된다.

본문에 실린 데이터는 미국 Mac Demid사의 제공자료임.

질 의 응 답

문) 철강 제품에 황동도금을 한다. 시안화물 도금액에서 합금도금을 한 후 수세, 크롬산 침지, 수세를 거치고 나서 수성 락커를 칠한다. 그런데 도금면이 처음에는 황색이었으나 얼문 안 가서 초록색을 띄게 된다. 이유가 무엇인가?

답) 초록색을 띄게 되는 원인은 수성 락커의 품질이나 락커 도장 두께 때문이라고 볼 수 있다. 어떤 수성 락커에는 황동을 용해하는 성분이 포함되어 있다. 이런 락커를 바르면 황동으로 된 문설주가 하루 밤새 검게되는 것을 볼 수 있다. 다음으로 락커 도장층의 두께가 $12\mu\text{m}$ 는 되어야 한다는 것이다. 그것도 수성 락커가 아닌 유성 락커나 정전기 도장이 좋다. 이러한 조치를 해도 변색이 계속되면 황동 도금층의 기공도를 줄이도록 해야 한다. 우선 황동 도금 전에 광택 니켈 도금을 $2.5\mu\text{m}$ 두께로 행하고 황동 도금은 $5\mu\text{m}$ 이상으로 한다. 또 도금액 중의 유기물의 불순물이 있으면 기공 형성이 잘 되므로 불순물 제거를 위한 여과, 활성탄 처리가 필요하고 탄산 소다의 함량이 많아도 기공도가 증가하므로 이를 75g/l 이하로 억제해야 한다.

문) 아연도금을 한 후 황색 크로메이트 처리를 하면 페인트 도장하기에 적합한가?

답) 그렇다. 황색 크로메이트 처리를 하면 페인트, 락커, 바니쉬등의 도장에 유리하다. 이것은 인산염 처리한 것과 마찬가지로 도장 피막의 벗겨짐을 막아주고 내식성도 향상 시킨다.

문) 소령 물품에 광택 아연 도금을 한 후보관기간중 광택이 오래 유지되도록 하려면 어떤 처리가 적합한가?

답) 아연 도금 후 투명한 크로메이트 피막을 입히거나 폴리머 피막을 입히면 좋을 것이다. 폴리머 피막은 폴리머를 분산시킨 물에 제품을 담궜다 꺼내면 되며 이때 분산 농도를 크게하면 폴리머 피막의 두께가 두꺼워 지고 내식성도 좋아진다. 크로메이트 처리와 폴리머 피막 처리를 같이 하면 더욱 좋은 결과를 얻을 수 있다.

문) 아노다이징을 할 때 물품의 표면적을 계산할 필요가 없는 정류장치가 있다고 하는데 어떤 것인가?

답) 그러한 전원 장치는 실제로 전류를 자동 조절하는 장치인데 우선 면적을 아는 물품을 처리할 때 전류밀도와 전압간의 관계를 미리 프로그램해 두었다가 다음 부터는 면적이 달라져도 프로그램된 전압-전류밀도 관계식에 따른 전류가 흐르도록 하는 전원 장치이다.

문) 철강제품에 아연도금을 하고 크로메이트 처리를 하면 반점이 많이 생기고 있다. 바렐도금을 할 때 겹쳐진 부분에서 반점이 생기는 것 같은데 반점이 생기지 않도록 하는 방법이 없는가? 또 크로메이트 처리를 하지 않으면 어떨것는가?