

〈技術資料〉

高速電氣鍍金*

白 英 男** 記

이 보고서에서는 고속도금의 개발에 있어 각광을 받고있는 고전류밀도에 견딜 수 있도록 용액의 고속유동 혹은 음극운동을 시키는 공정이 다루어 졌으며 크롬, 구리, 니켈, 아연 및 은의 공업적 응용을 검토 기술하였다.

고속전기도금이 최초로 도입된 것은 1940 년대 초였다. 당시는 $0.3\sim 0.5A/cm^2$ 의 전류밀도로 연속강대(strip)상에 2~3 초간에 얇은($0.75\mu m$)주석 도금층을 만드는데 적용되었다. 1.2m/sec 이상의 속도로 빨리 강대(strip)를 운동시키는 것이 고속주석도금을 성공시킨 비결이었다. 또한 후일 채용된 강대및 장선(wire)의 고속아연도금을 방법의 비결이 되기도 했다. 이 공정은 바닥 면적을 조금 사용하고 전체적 경비를 절감하였다. 고전류밀도로 도금하는데 용액의 고속유동 효과는 32년 이전에 발표되었으나¹⁾ 음극표면에 이온 수송을 촉진하는 실행능력을 1970년대까지 널리 알려지지 못해 공업적 개발이 지연되었다. 거기다 효과적인 내구코팅에 적합한 재료가 1960년대 후반까지 충분히 진보되어 있지 않았다. 1950년대와 1960년대 사이에 연구된 다른 방법들은 고주파คลื่น, 열매체에 의한 기계적 교반과 초음파 교반, 부러싱(솔질) 및 제트(분사) 도금등이 있으나 고전류밀도를 유지함에 있어서 이들 방법은 용액의 고속유동 또는 고속음극운동보다 효과적이 못되었다. 예를 들어 용액의 고속유동 또는 고속음극운동에 기반을 둔 장치(system)에 있어서는 $150\mu m/min$ 의 속도로 도금을 할 수 있었음에 비해서 펄스도금과 제트(분사)도금에서 얻어진 가장 빠른 도금속도는 제트(분사)도금에서 얻어진 가장 빠른 도금속도는 각각 $40\sim 50\mu m/min$ 이었다. 제

다가 용액의 고속유동 및 고속음극운동 방법이 그 응용에 있어서 비용이 적게 드는 것으로 나타났다.

용액의 고속유동

표면형태, 용액의 점성 및 기타 인자에 따라 다르지만 용액유속이 $1.0\sim 1.2m/sec$ 의 범위에서는 $3A/cm^2$ 혹은 그 이상의 전류밀도로 대부분의 금속을 실질적으로 석출시킬수가 있다. 1 m/sec 이하의 유속에서는 전류밀도는 $0.3A/cm^2$ 혹은 그 이하로 제한된다. 유속이 낮을때 그 이상의 전류밀도에서는 석출물에 과도로 다공성이 되거나 분상이 된다.

유속이 약 1 m/sec 이상이 되면 난류(亂流 turbulent)가 된다. 그 이하의 속도에서는 음극표면에서의 흐름은 층류(層流 laminar)이며 이 상태에서 고전류밀도를 유지하기는 불충분하다. 원리적으로 층류에서 난류로의 이전은 $1.0\sim 1.2m/sec$ 의 속도에서 일어난다.

비교적 높은 $40\sim 62^\circ C$ 의 온도가 고전류 밀도를 유지함에 좋다. 더욱이 유속을 빨리하면 할수록 평활하고 치밀한 금속을 석출하는 허용범위가 넓어진다. 예를 들어 약하고 다공성 석출물을 피하기 위해 $40^\circ C$ 혹은 그 이하의 온도로 유지하지 않으면 안되는 산성황산 구리도금욕의 구리 도금에서도 용액을 고속유동을 하면 적어도 $62^\circ C$ 까지 안전하게 그 범위를 넓힐수가 있다. 이러한 영향은 고전류밀도에 의해 높아지는 저항가열 때문에 액온이 상승체되는 경향이 있는 관점에서 볼때 유용한 것이라고 하겠다.

과도한 에너지 비용을 절감하기 위해서는 양극과 음극간의 간격을 1 cm 혹은 그 이하로 좁게하

* 원문은 "High-Speed Electroplating" by W. H. Safranek; Plating and Surface Finishing Vol. 69, No. 4. (1982) P. 48~55임.

** 경희대학교 기계공학과 조교수

지 않으면 안된다. 이보다 넓은 간격은 고전압(10V이상)을 필요로 하고 과열의 결과를 초래하게 된다. 또한 보다 넓은 간격에서는 그에 맞는 에너지를 요하는 대형컴프가 필요하다. 1cm 간격에서는 구리도금 및 니켈도금을 2~3A/cm²으로 도금하려고 할때 6~9V가 대표적이다.

도금속도데이터

1972년에 완성된 연구에서 보면 1.0m/sec 이상의 용액의 고속유동을 이용하여 10종의 금속을 고속도금하였다.²⁾ 표 1에 이들 금속과 전착에서

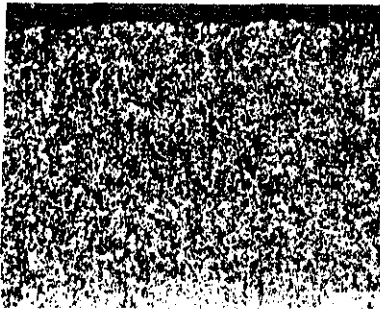


그림 1. 30μm/min의 속도로 전수한 두께 150μm의 니켈박막의 부식단면.

용된 용액을 나타내었다. 표에 나타낸 전류 밀도는 대개의 경우 두터운 석출물-50~75μm의 실용전류밀도에 상당한다. 그에 상당한 도금속도는 금이 18μm/min으로부터 철이 150μm까지의 범위였다. 이들 속도는 0.1A/cm²이하의 전류밀도에서 통상으로 시행하는 도금보다도 30~50배 가량이 컸다. 황산 또는 붕불산이 포함된 황산구리 및 붕불화구리 용액에서 고속도금을 위한 고전류 밀도가 사용되었다. 크롬도금액을 제외한 표 1에 나타낸 모든 용액이 구리용액과 같이 96~100%의 효율을 나타냈다. 구리 및 황산농도의 많은 변화에도 불구하고 황산염류로부터의 석출물에 대한 외관 그리고 효율에 있어 커다란 영향이 없었다. 황산니켈용액 또는 염화니켈용액에 붕산은 첨가되었으나 표 1에 나타낸 어느용액에도 첨가제는 전연 사용하지 않았다. 일반적으로 소지와 같은 정도 혹은 그림 1에 나타난 바와같은 미립조직인 양호한 표면 평활도를 유지하는데 미립자제를 필요로 하지 않았다.

0.025 혹은 0.03M의 황산을 함유한 2.5 혹은 3.0M의 크롬산 용액을 50°C로 가열하고 고속유

표 1. 두께 50μ~75μm의 피막 및 박막의 전착시, 실용적인 전류밀도와 최대도금속도²⁾

금 속	용 액 ^{a)}	실용전류밀도
		A/cm ²
크롬	3.0M CrO ₃	6.2
코발트	2.5M Co(BF ₄) ₂	6.2
구리	2.0M CuSO ₄ or Cu(B	3.1
금	0.05M AuCN(citrate)	0.8
철	2.3M Fe(NH ₄ SO ₄) ₂	6.9
납	2.5M Fe(NH ₄ SO ₄) ₂	1.6
니켈	2.0M NiSO ₄ or NiCl ₂	3.0
주석 ^{b)}	1.0M Sn(BF ₄) ₂	3.0
카드뮴 ^{c)}	1.0M Cd(BF ₄) ₂	3.0
아연	2.0M ZnSO ₄	3.0

- a) 첨가제가 포함되지 않은 금속용액
- b) 강상에 두께 1~1.5μm의 석출물에 대한 자료
- c) 두께 13μm 피막에 대한 자료.

동을 시키면서 크롬을 석출시켰을때 전류 밀도에 따라 음극전류 효율은 30~55% 범위가었다. 6.2 A/cm²에서 효율은 55%로서 이것은 0.3~0.6A/cm²의 상용되는 전류밀도에 있어서의 효율에 비해 약 4 배나 되었다. 이와같은 사실은 고속크롬도금설비의 정류기 용량이 상용의 크롬도금 설비에 필요한 용량의 1/4만이 필요할 뿐이다. 아울러 고속도금에 의해 소비되는 종래의 도금에 의해 소비된 것에 1/4에 불과하다.

특성과 조직

난류체제에서는 고속전착물의 성질과 조직에 대한 유속의 영향은 비교적 적다. 그러나 전류밀도의 변화는 인장력 및 물리적 성질에 영향을 주었다.³⁾ 예를들면 황산욕에서 난류하면서 석출시킨 구리의 인장력은 전류밀도가 1~3A/cm²로 증가됨에 따라 즉 석출속도가 25~75μm/min으로 증가함에 따라 35~45kg/mm²으로 증가하였다. 붕불화욕에서 석출시킨 고속도 구리는 좀 낮은 인장력을 나타냈는데 1~3A/cm²의 범위에 걸쳐 28~35kg/mm²로 상승하였다. 그래도 이들 수치는 종래 통상 도금속도로 석출시킨 구리에 관해 보고된⁴⁾ 수치보다는 높다. 붕불화용액에서 석출시킨 구리의 연신율은 9%로부터 6%로 떨어졌다. 그러나 밀도(비중)는 8.6에서 8.8g/cm³ 정도로 약

간의 변화가 있었다.

몇종의 고속 및 종래의 전착물의 인장력 특성을 표 2에 비교한다. 고속도급한 구리, 니켈 및

아연의 인장력은 높은 수준의 범위였다. 이들 인장력은 미립조직에 기인되는 것이다. 표 3의 데이터는 종래의 보통 도금속도로 얻어진 전착물이

표 2. 고속 및 종래의 구리, 니켈 아연의 인장력

금속 / 용액	고속전착물 ^{a)}		종래의 통상전착물 ^{b)}	
	인장력	연신율	인장력	연신율
	kg/mm ²	%	kg/mm ²	%
구리/2M 붕붕화물	30~34	6~10	14~26	8~31
구리/2M 황산염	34~42	5~8	15~21	8~24
니켈/2.5M 염화물 니켈	75~85	7~8	46~96	5~14
니켈/1.75M 황산염	90~130	2~11	30~73	6~30
니켈/2.75M 염화물, 황산염	75~58	2~3	30~69	5~35
아연/2M 황산염	14~15.5	3~5	5~1512	1~51

a) 전류밀도 구리는 1.5~3.1A/cm², 니켈은 0.5~2.5A/cm², 아연은 0.9~2.5A/cm²

b) 전류밀도 구리 및 니켈은 0.33~0.05A/cm², 아연은 0.015A/cm² 0.03

그들 고속도급에 의해 얻은것 보다 치밀한 경향이 있음을 나타낸다. 한편 고속도로 얻어진 몇종의 석출물은 전형적인 경우 낮은 전기 저항을 나타내고 있어 이는 어떤 전자제품 응용에 유리한 점이 될 것이다.

고전류밀도로 석출시킨 크롬의 경도와 조직은 용액에 의해 결정된다.⁶⁾ 0.025M의 황산을 함유

한 2.5M 크롬산 용액을 50°C에서 사용하면 3.2~6.2A/cm²의 전류밀도 범위에서 균열이 전혀 없거나 거의 없는 석출물이 얻어진다. 온도를 75°C까지 올려주면 같은 용액중에서 52~55°C 0.25~0.3A/cm²로 석출시킨 보통 크롬도급에 의해 전형적으로 나타나는 균열이 있는 조직을 나타낸다. (그림 2 및 3 참조)

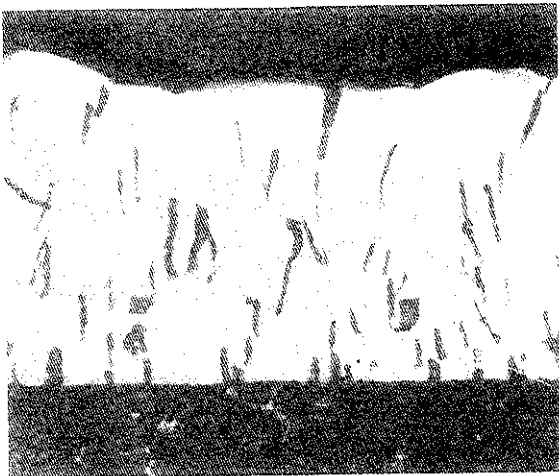


그림 2. 2.5M CrO₃ 및 0.025M H₂SO₄가 함유된 75°C 용액에서 4A/cm²으로 석출시킨 크롬의 부식단면.

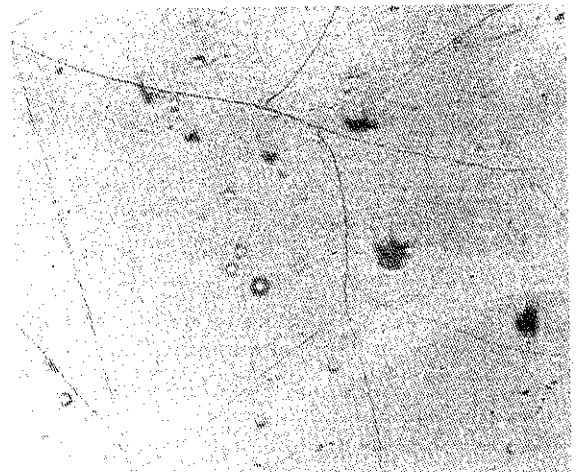


그림 3. 75°C의 CrO₃ 및 H₂SO₄ 용액에서 4A/cm²으로 석출시킨 부식크롬층의 표면 외관.



그림 4. CrO₃, H₂SO₄ 및 H₂SiF₆로 조제된 75°C의 욕에서 4A/cm²으로 석출시킨 크롬의 부식 단면

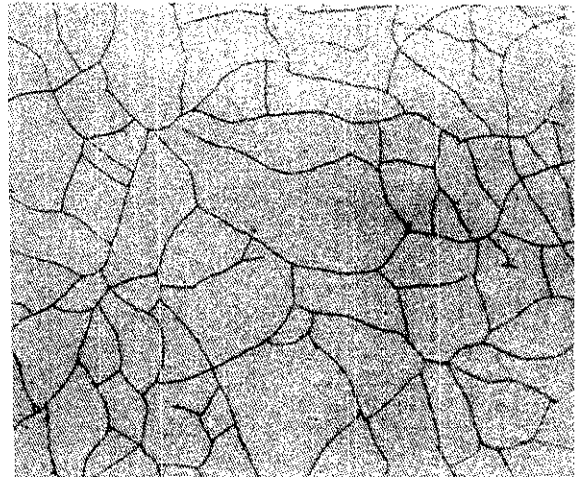


그림 5. CrO₃, H₂SO₄ 및 H₂SiF₆로 조제된 75°C의 욕에서 4A/cm²으로 석출시킨 부식 크롬층의 표면외관

표 3. 고속 및 종래의 보통석출물의 밀도와 전기저항 데이터지²⁾

금속 / 용액	고속도 석출물			종래의 보통 석출물		
	전류밀도	농도	저항	전류밀도	농도	저항
	A/cm ²	g/cm ²	microhm-cm	A/cm ²	g/cm ²	microhm-cm
구리/2M 붕불화물	1 2	8.65~8.0	1.69~2.34	0.03~0.05	8.91~8.93	1.75~2.1
납/7.75M "	1 1.5	11.22~11.34	21.6~22.1	0.03	11.34	20~22.9
니켈/3.8M 연화물, 황산염	1 2	8.65~8.69	6.8	0.03~0.05	8.86~8.90	7.44~8.96
아연/1.75M 황산염	1 2	6.60~7.4	7.6~8.2	0.01~0.04	7.2~7.5	7.5

황산의 일부를 규불산으로 치환한 후 75°C 욕중에서 고속크롬을 석출시키면 높은 균열수를 갖는 조직이 되었다. (그림 4 및 5 참조) 균열수가 높

거나 낮거나 크롬석출물은 정도가 같았다. 표 4에 나타낸 바와같이 균열이 없는 크롬도 얻을 정도가 컸다.⁵⁾

표 4. 크롬도금의 고속도 공정²⁾

크롬의 형태	도금 용액	온도 °C	전류밀도	음극효율	도금속도	경도
			A/cm ²	%	μm/min	kg/mm ²
무균열	2.5M CrO ₃ 0.025M H ₂ SO ₄	50	3.2~6.2	45~55	10~20	720~840
저균열 (75~95cracks/cm)	2.5M CrO ₃ 0.025M H ₂ SO ₄	75	3.7	20	4.5	920~1030
고균열 (250cracks/cm)	2.4M CrO ₃ 0.03M CrO ₃ 0.02M H ₂ SO ₄	75	3.7	24	5.4	920~1020

a) 용액의 유동속도 또는 기계적 회전속도는 1.25~1.5m/sec의 범위이다.

용액의 고속유동으로 얻은 고속전착물은 고속음극운동으로 얻은 고속전착물과 동일한 특성과 조

질을 나타내었다.²⁾ 이들의 관계는 용액을 고속운동하면서 3cm 직경의 시린더의 내경표면에 크롬

도금한 것과 용액유속(1.5m/sec)와 같은 표면속도로 회전하는 봉(rod)의 외측에서 얻은 전착물과를 비교해서 확증된 것이다. 봉을 유극운동 시키며 구리도금한 것과 평판음극에 액이 흐르는 조에서 고속유동시키며 구리도금한 고속전착물의 특성이 동등하다는 것이 확인되었다. 종래의 균열조식을 나타내는 보통 크롬도금과 고속도금한 부균형 크롬도금과 비교한 마모연구들을 볼때 후자의 마모속도가 3.5배나 컸다. 각각의 경우 마모깊이는 332 알루미늄 합금으로 주조한 직경 3cm의 부상(bushing)에 15~75 μ m의 두께범위의 석출물에 대해 측정하였다. 고속 및 보통크롬 전착물은 똑같이 압축기에서 높고 잘 제어된 압력하에 인산염처리한 주철링(ring)을 각 부상에 왕복운동시켜 시험하였다. 또 다른 별개의 일련의 실험에서 150 μ m 크롬도금한 8cm의 피스톤 링을 주철시린더에 대해 시행한바 무균연도금 및 경도높은 고균열 석출물이 모두 같은 정도의 마모 저항을 나타내는 것을 확인하였다. 이들 전착물의 성능은 종래의 낮은 속도로 석출한 크롬과 같은 두께의 것과 유사하였다.

공업적 응용

크롬-크롬125~150 μ m의 피스톤링의 도금에 고속법을 채용하였다. 1~1.5m/sec의 표면속도로 회전하는 축(arbor)에 링을 쌓아올린다.⁶⁾ 이 작동법은 6.5~16cm의 각종 링 직경의 것을 도금하는데 용액의 고속유동법보다 더 많은 용통성이 있기때문에 이 방법이 채택된 것이다. 크기가 변경될때 축과 양극의 위치만을 변경하는 것으로 족하다. 생산일정상 개개의 탱크에 대해 링 크기를 바꾸어야 할 필요가 있을때 양극대 유극의 일정한 간격을 유지하기 위해 양극을 동심(concentric)의 링중에 넣고 뺀다. 크롬은 약 10분간의 석출로 필요두께를 얻는다. 고속도금법은 공장면적과 장치를 줄이고 부가하여 에너지도 절감한다. 그리고 저속의 보통 크롬도금보다 자동화에 잠재적으로 권유한다.

구리-회로 패턴(patter)의 전주용 고속구리도금은 유연성있는 회로 생산에 대한 신 방법의 주요 요소이다.⁷⁾ 이 방법은 스테인레스강 대상에 생성시킨 회로를 접착재가 피복된 유연성있는 중합분자(polymeric)소지에 이전시키는 것으로 되어 있다. 1~2 A/cm²의 전류밀도에서 25~30 μ m/min의 석출속도가 얻어진다. 회로의 경계를 정하

기 위해 절연체를 피복한 25cm폭의 벨트(belt)를 수평의 도금조를 통해서 끌어당긴다. 거기에 벨트와 불용성양극에 의해 3mm폭으로 제한된 구역을 강제 통과시킨다.⁸⁾ 용액의 유속속도는 2m/sec이다.

도금후 수세수로 사용한 물은 1.5M 황산구리욕에 가한다. 이와같은 작업은 구리가 함유된 폐기물의 배출을 하지않게 된다. 온도를 60~65 $^{\circ}$ C로 유지시키고 물을 증발시켜 증발냉각장치를 사용해서 용액의 부피가 증가하는 것을 방지한다. 약 \$1.10/kg의 구리스크랩(scrap 조각)이 석출공장에 의해 소비된 구리를 보급하는데 사용된다.

구리회로판의 이 전주공정은 구리를 절약하고 종래의 용해법에서 사용된 부식제의 필요성을 없이한다. 고속석출은 설비와 공장면적을 적게 보전한다. 그 결과 고속전주공정은 종래의 용해공정 보다도 비용이 20~30%가 낮은 것으로 나타났다.⁹⁾

금-고신뢰도 전기장치의 수요증가의 결과로, 지난 1, 2년 고속금도금을 시행하는 설비의 수가 점차 증가되어 오고 있다. 구리합금의 연속스트립 혹은 웨빙(webbing 띠)에 지정표시된 면적상에 부분도금하는 열매장치(real-to-real units)가 수없이 실적된 것으로 증명된다. 고속도금기술이 리드프랜(lead france)의 도금과 인쇄회로판의 콘택트탭(contact tab)에도 고속도금기술이 채용된다.

교반은 유극경계면에 고속도로 이온 수송을 해주는 가장 중요한 조작조건이다.¹⁰⁾ 용액의 고속유동법에서는 금농도 30~40g/l의 용액에서 온도60~70 $^{\circ}$ C, 전류밀도 2A/cm²으로 얇은 도금층(1.0~2.6 μ m)을 120 μ m/min과 같은 높은 금석출속도로 얻는다. 그러나 몇몇 설비에서는 이보다 낮은 전류밀도가 사용되어 왔다.

부분도금의 여러방법이 채용되어왔다. 이는 모두 금을 절약하고 비용을 절감한다. 금 스트립(strip)은 접속자(connector)를 가공로인한 후 전기접촉이 안되어야 할 구역을 덮을 이봉 마스크(mask 절연물)를 장치에 사용하여 도금을 한다. 또 다른 방법은 구리합금 스트립을 전전시키는데 단계적이고 반복적인 기술(step-and-repeat technique)을 사용하여 스폿트(spot)도금을 한다. 스폿트도금을 하기 위해서는 용액분사(jet)를 요망되는 고전류밀도와 석출속도를 유지하도록 스트립표면상에 충돌시킨다. 또하나 가장 최근의 방법은 금의 석출을 필요로 하지 않는 모든 부분들

절연(mask)하는 비전도대(band)재료를 사용하여 예비성형한 부품을 띠모양으로 만드는 것이다. 리드프램을 금으로 스폿트 도금하여 반도체 칩(chip)의 조립접합(bonding)을 쉽게하기 위해서는 프램(frame)의 연속적인 띠(web)를 고속으로 도금하기전에 몇종의 예비도금 단계를 거쳐 이동한다. 한 예로¹⁰⁾ 이동마스크(mask)를 사용하여 다이본딩(die-bonding) 면상에 $0.6 \sim 0.8A/cm^2$ 으로 $1 \mu m$ 의 금을 도금한다. 또다른 장치로는¹¹⁾ 고전류밀도($0.3A/cm^2$ 이상)로 얻어진 $2.5 \mu m$ 두께의 석출물의 성질과 특성을 개선하기 위해 펄스도금을 채용하였다. 정현파(sinesoidal wave)는 $1.6A/cm^2$ (음극)으로부터 $0.25A/cm^2$ (양극)까지 펄스한다. $30 \sim 40g/l$ 금농도와 온도 $77 \sim 80^\circ C$ 가 보통쓰여진다.

가끔 "핀저"(fingers)로 불리기도 하는 인쇄회로판의 콘택트 탭(contact tab)을 몇몇 공장에서는 고속도금 공정으로 도금한다. 이 기술은 회로판을 수직으로 잡아주고 탭(tab)면 상에만 충돌시키는 도금용액의 분사(jet) 사이에 기계적으로 전진시킨다. 분사(jet)는 고전류밀도를 사용하기에 충분한 교반작용을 해주는 것이다. 이러한 목적으로 $0.3 \sim 0.5A/cm^2$ 의 전류밀도는 $0.4 \sim 0.5$ 분내에 $1.25 \mu m$ 의 경도가 큰 금을 석출시키는데 충분하다. 이와같은 얇은 석출물에는 더 고속도로 할 필요가 없다.

니켈-고속 금도금 부품은 보통 먼저 니켈도금을 하여 확산방지막의 작용을 하도록하고 또 금 석출물의 다공성을 경감한다. 이 경우 니켈도 역시 보통 $0.6 \sim 1.0A/cm^2$ 의 전류밀도와 $12 \sim 20 \mu m/min$ 의 속도로 고속도금한다. 규정상 니켈두께는 $2.5 \sim 7.5 \mu m$ 의 범위이다. 석출물이 꺼슬리(타)지 않고 이와같이 고전류밀도에 감당하기 위해서는 빠른 용액의 유동($>1.0m/sec$)을 시키거나 고속

분사(jet)를 채용한다.

니켈띠(belt)를 전주하는데 허용 전류밀도를 증가시키기 위해 크롬도금한 드럼(drum)을 고속회전시키는 고속도금방법이 쓰여진다. 요망되는 범위로 응력 혹은 특성을 조절하기 위해서 이들을 적용함에 솔퍼민산니켈 용액을 선택하였다.¹²⁾ 전류밀도는 $0.3 \sim 0.5A/cm^2$ 범위이고 이때 니켈을 $6 \sim 10 \mu m/min$ 의 속도로 석출시킨다. 이 띠(belt)는 사무용 복사기에 사용된다.

최근의 보고¹³⁾에 또 다른 고속석출에 의한 니켈전주공정을 설명하였다. 이 보고에 의하면 원관(mandrel) (음극)과 니켈소편(button)을 채운 티타늄 양극 바스켓 사이에 용액을 고속유동시켜 $0.2A/cm^2$ 의 전류로 우표 및 지폐를 인쇄하는 $0.9 mm$ 두께의 평판($70 \times 73cm$)을 전주하였다. 솔퍼민산용액이 역시 이 전주용으로 쓰여졌다. 이 보고서는 저속으로 얻어진 인쇄판과 비교된, 고속니켈의 성질을 인출하였다.

은 및 주석-전자패케지(package)용 어떤 몇몇 리드프램(lead frame)은 은도금을 한다. 이들 적용을 위한 반도체 공업에서 소비된 은의 약 95%가 고속도금을 하고있다.⁹⁾ 전류밀도 $4A/cm^2$ 을 사용하여 $180 \mu m/min$ 과 같이 높은 속도로 은도금을 하기 위해서는 은을 $40 \sim 100g/l$ 함유하고있는 시안화물용액과 용액의 고속유동이 필요하다.

주석은 세계 각지에서 많은 공장이 연속공상에 고속도로 도금하고 있다. 전형적인 장치는 $0.375 \mu m$ 두께에 $0.6A/cm^2$ 의 전류밀도를 적용한다. 스트립(strip)의 속도는 원칙적으로 $2.5 \sim 3m/sec$ 의 범위이다. 몇몇 설비는 수평조로 되어있으나 기타의 것은 수직조를 통하여 스트립을 상하로 이동한다.

아연-특히 한쪽 면만을 도금한 재료에 대한 아연도금강대(strip)의 수요증가는 과거 수년간에

표 5. 고속도 아연도금 설비

장치의 형식	국 별	일 면	라인속도	전류밀도	석출속도	양 극	참고문헌
		양 면	m/sec	A/sec	$\mu m/min$		
수평형	일본	1 또는 2	2.5 ^{a)}	0.2	5	Cu-Pb	14
수직환상형	영국·독일		1.7	0.6	16	Zn	15
수직환상형 ^{b)}	독일	일	1.7	0.4	17	Pb-Sn	15
수평형	미국	1 또는 2	자료무	1.0	27	Pb-Sb	16
회전드럼형	미국		3.0	1.5	40	Zn	17

a) 역류용액의 속도는 $0.03m/sec$ 임.

b) 6%주석이 함유된 납합금도금용 설비임.

여러가지 새로운 개발에 분을 붙여 새로운 고속도금설비가 절정에 달하였다. 이 수요의 대부분이 자동차공업을 위한 것이었다.

표 5는 강재 (approach)를 보여주고 있다. $16\mu\text{m}/\text{min}$ 의 중장/속도로 도금하는 수직 환상 시스템 (system of vertical loop)을 독일과 영국에서 선택하였다.¹⁵⁾ 미국에서는 $27\mu\text{m}/\text{min}$ 의 석출속도를 갖는 수평라인이 설치되었으나¹⁶⁾ 최대의 설비는 모두 직경 2.4m의것 18개의 회전드럼을 사용해서 연간 360,000톤의 강을 고속도금한다.¹⁷⁾ 이들의 대부분은 한 면만을 $14.8\mu\text{m}$ 두께로 아연도금한 것이다. 이 설비는 인디애나주 개리 (Gary) 시에 설치되어 있으며 $1.5\text{A}/\text{cm}^2$ 의 고전류밀도에 감당하기 위해 $3\text{m}/\text{sec}$ 의 표면속도로 드럼을 회전시켜서 $40\mu\text{m}/\text{min}$ 의 속도로 아연도금을 하고있다. 개리공장에서는 염화아연용액을 사용하고 있으나 다른 곳에서는 황산아연이 채용되고 있다.

용액의 고속유동법을 사용하는 고속도금조업이 아연에서는 아직 공업적 규모까지 발전되고 있지 않으나 최근의 연구보고¹⁸⁾에서는 6mm의 양극대음극 간격을 통하여 $3\sim 4\text{m}/\text{sec}$ 의 유속에 의해 에너지 효과가 큰 공정방법을 개발하였다. 이 방법은 $3\text{A}/\text{cm}^2$ 의 고전류밀도에선 전압강하가 겨우 5V이었다.

잠재적인 응용

이미 공업적으로 전자장치, 사무용복사기, 피스톤링 및 피스톤로드강재 (strip steel)에 채용되고 있는 방법에 대해서는 가까운 장래에 더 많은 고속도금의 응용이 예상된다. 예를들어 P.C배선판의 비이비글라스 (fiber glass)보강, 예폭시 적층판을 만들기 위해 사용되고 있는 구리박판의 제작에는 고속공정이 개발되었다. 전해전 박막에 관한 보고도 발표되고 있다.¹⁹⁾ 전지제작용 니켈 박막도 시작품까지 전전이 되어있다.

구리선을 대체하기 위해 고속도금 방법으로 구리를 두껍게 피복한 알루미늄선이 불원간 나오게 되었다. 공업화는 장래의 구리 및 알루미늄 가격 차에 달려있다고 본다.

설비에 있어 거대한 자금투자를 요하는 현재 복잡한 P.C배선판 도금에 대해서는 경비가 절감되는 고속도금기술에 의한 간단한 시스템이 매력적인 대체법이 된다. 구리로 드루홀 (through hole) 도금하여 비접촉면에 선택적으로 수직-납함금도금을 하고 영구적인 밀봉마스크 (seal-tight mask)

를 써서 탭 (tab)위에 니켈과 금도금을 하는 저가 (lower-cost)의 모듈 (module)시스템은 레지스트 (resist)를 적용하고 제거하며, 접촉면으로 부터 수직-납함금을 박리해야하는 고가의 도금과정을 축출하게 될것이다. 이에대한 간단한 시스템에 사용될 모듈이 설계되었다.

고속도금은 연속스트립, 관 및 선등 여러 가지 제품을 제조함에 에너지의 소비와 전체적 경비를 절감하는 기회를 기업가에게 제공할 것이다. 또한 금속의 전해제취와 전해정련에서도 마찬가지이다. 이들의 짜마춤 (combination)은 에너지를 집중적으로 소비하는 용해, 주조, 압연과정을 성략할 것이다. 연속스트립을 고속으로 구리를 전해제취하여 니켈과 주석크롬을 연달아서 도금하여 효과적으로 생산하여 저가격 흡수판넬 (panel)을 만들어 태양에너지 집광기를 모든 가정의 예산에 맞는 가격으로 쉽게 할 수 있을 것이다. 크롬도금은 마모 저항이 중요한 여러가지 적용용에 대해 에너지면에서 일층 효율적이 될것이고 고속도금이 좀더 널리 채용되면 더욱 경비면 유효할 것이다. 결과적으로 이와같은 응용을 위해 내다모르본의 용액이 일층 많아질 것이다. 예를들어 피스톤에 질라이너와 콘로래샤프트에 이용화택가 예측된다.

니켈이나 기타 금속기지 (matrix)중에 산화물이나 탄화물 입자를 적어 넣은 내마모부산 경화링 복합피막을 고속도금에 의해 선원적으로 제조하였다. 이와같은 피막은 여러가지 재함에 대해 장래를 기약할 수 있는 것이다.

스테인레스 클래드 (clad, 두껍게 입힌) 탄소강은 크롬을 고속도로 강에 도금하여 만드는데, 고속도금후 즉시 고속, 고온화산 과정을 갖는다. 이는 크롬금속을 전함하고 재료비를 절약하는데 도움을 줄 것이다. 이에대한 예비적 실험이 고조되고 있다.

용액의 고속유동 및 비교적 높은 석출속도는 이미 수세체수로부터 금속을 회수하기 위해 연설이 되어있다.²⁰⁾ 공정의 효율화가 확대사용을 정당화할 것이다. 유사 기술이 도금공정에서 이미 용해해 버린 스크랩 (scrap 조각)과 슬러지 (sludge)

로부터 금속을 회수함에 또한 유용할 것이다.

고속도금을 사용하는 동기는 바닥 (공장) 면적, 장치, 에너지의 절약보존 (consevation)에 있으나 기타 다른 보이지 않는 이점도 나타날 것이다. 예를들어 고속공정은 회로패턴 (pattern)을 전중하여 연속스트립상의 선택된 면에 도금하고 고속원

벡터 형성하는 과정에서 재료를 절감한다. 대부분의 경우 컴퓨터화한 품질관리는 고속도금을 채용함에 용이하고 경비도 적게되며 또한 필연적으로 신뢰도와 생산성을 모두 촉진시킬 것이다. 더욱이 고속도금은 경비를 절감하는 자동화를 용이하게 해낼 수 있을 것이다. 문제가 야기 되었을 때 수백의 부품을 폐기고에 방치하여 다루기 힘들고 복잡한 피물을 만들게되는 대신 고속도금 기술을 이용하는 소형의 값이 비싸지 않은 모듈(자동 장치)가 채용되면 자동화하는데 의래 기계가 커지고 복잡하게하는 경향이 오히려 역으로 될 것이다.

오늘날 고속도금은 전기도금실무의 발전에서 다른 어떠한 개발보다 커다란 영향을 갖고있다. 앞으로 이의 역임은 더욱 위력을 발휘하게 될 것이다.

References

1. W.A. Wesley, W.W. Sellers and E.J. Roehl, *Proc. AES*, 36, 79 (1949).
2. W.H. Safranek and C.H. Layer, *Trans. Inst. Metal Finish.*, 53, 121 (1975).
3. W.H. Safranek, Chapter 23, *The Properties of Electrodeposited Metals and Alloys*, Am. Elsevier Pub. Co., New York, NY (1974).
4. W.H. Safranek, Chapter 6, *loc. cit.*
5. W.H. Safranek, NBS Special Publication 452, 56 (1976).
6. S. Suzuki, K. Yoda, H. Suzuki, I. Yaguchi and H. Korasawa, U.S. Patent 4,080,126 (1978).
7. G.R. Schaer and T. Wada, *Plating & Surf. Fin.*, 68, (July 1981).
8. S. Yamaguchi, U.S. Patent 4,119,516 (1978).
9. R. Duva, *Proc. 68th AES Tech. Conf.*, Session C (June 1981).
10. D.W. Endicott and G.J. Casey Jr., *Plat. & Surf. Fin.*, 67, 58 (March 1980).
11. D.L. Rehrig, *Proc. 65th AES Tech. Conf. Session K* (June 1978).
12. R.E. Bailey, MCIC Report 74-17, Metals and Ceramics Info. Center, Columbus, OH (April 1974).
13. G. Schaer and P. Krasley, *Plat. & Surf. Fin.*, 66, 36 (December 1979).
14. M. Morimoto, et. al., *Proc. AES Second Continuous Plating Seminar* (January 1977).
15. B. Meuthen, *Proc. AES Third Continuous Strip Plating Symp.*, (April 1980).
16. A.W. White, *loc. cit.*
17. R.F. Higgs, U.S. Steel Corp., private communication.
18. A. Weymeersch, R. Winand and L. Renard, *Plat. & Surf. Fin.* 68, 56 (April 1981).
19. P.K. Subramanyan and W.M. King, *Plat. & Surf. Fin.*, 69, 48 (February 1982).
20. C. A. Swank and W.J. McLay, "Electrolytic Metal Recovery Comes of Age," presented at EPA/AES 4th Conf. on Arvanded Pollution Control for the Metal Finishing Industry, Lake Buena Vista, FL (January 1982).

질 의 응 답

㉠ 책에는 경질크롬도금을 할때 욕은 50°C~55°C, 20~50A/dm²로 충분히 경한 도금을 얻을 수 있다고 되어있으나 실제로 해보니 연한 도금밖에 되지않고 있다. 어디에 원인이 있는가?

㉡ 원인은 욕중의 불순물이다. 도금욕중에 철이나 3가크롬 등의 양이온이 증가하면 욕온이나 전류를 아무리 잘 맞추어 주어도 경도가 큰/도금이 되지않는 일이 많다. 특히 3가크롬이 증가하기 쉬우므로 전해산화등에 의해 어쨌던 1g/l 이하로 해둘 필요가 있다.

불순물이 적은 표준욕을 사용해서 50~53°C, 25

~40A/dm²의 조건이므로 도금을 하면 반드시 경도가 큰 도금이 얻어진다.

㉢ 300°C에서 사용하는 제품에 경질크롬도금을 해서 내마모성을 주고싶다. 문제점이 없는가?

㉣ 문제없다. 크롬도금은 450°C까지는 가열하여도 경도가 떨어지지 않고 공기중에서는 400°C까지 표면에 변색도 되지 않는다. 더욱 높은 온도에서 사용되는 예를 들면, 어떤 유리 금형에서는 표면온도 700°C 정도로 추정되고 있으나 경질크롬도금의 효과가 충분히 발휘되고 있다.