

코팅층을 이용한 몰리브덴의 확산접합

박재현* · 권영각* · 장래웅*

Diffusion Bonding of Mo with Coating Layer

J. H. Park*, Y. G. Kweon*, R. W. Chang*

Key Words : Diffusion Bonding(확산접합), Electroplating(전기도금), Vapor Deposition(증착), Heating Cycle(열사이클), Bending Strength(굽힘강도)

Abstract

Diffusion bonding of Mo was performed by using the metallic coating of Cu and Cr on the surface to be bonded. Joint characteristics of Mo with or without coating layer were compared in metallurgical and fractographical aspects.

The results showed that the diffusion bonding with coating layer, especially with Cu coating, increased the bending strength of joint. Variation of heating cycle(elevation of temperature for a moment) did not affect significantly the mechanical properties of joint. Fractographical analysis showed that the fracture of joint bonded with Cr coating occurred at the coating layer, while that with Cu coating occurred at the base metal.

1. 서 론

Mo는 고온특성이 우수하여 항공우주산업, 원자핵 분야를 비롯한 첨단분야로부터 히터(Heater), 전자광

부품, 열 반사판 등에 이르기까지 다양하게 사용되고 있다^{1,2)}.

그런데, 용융용접을 할 경우 Mo는 재료의 특성상 용접부가 모재에 비해 상온에서의 인성이 매우 저하될 뿐 아니라 재결정, 결정립 성장 등에 의한 조대화 현

* 정희원, 산업과학기술연구소 용접연구센터

상으로 용접부가 매우 취약하게 되어 만족할 만한 용접부를 얻는 것이 상당히 힘든 것으로 보고되어 있다¹⁻⁴⁾.

따라서 Mo의 접합시 상온에서의 강도유지 및 재결정, 결정립 성장등이 없는 건전한 접합부를 얻기 위해서는 모재를 녹이지 않는 확산에 의한 접합방법의 필요성이 연구되고 있으나 최근까지 이에 대한 연구는 상당히 미비한 실정이다.

본연구에서는 7mm φ의 순수 Mo 봉재를 사용하여 확산접합을 시도하였으며 Mo봉재의 직접접합은 물론 접합 특성을 향상시키기 위해 Cu, Cr등을 삽입금속(Insert Metal)으로 사용하여 접합을 실시 하였다. 접합시키고자 하는 Mo 시편의 표면에 삽입 금속을 도금 혹은 진공증착에 의해 수마이크론(μm) 두께로 코팅(Coating)한 후 분위기 하에서 접합시편을 제작하고 접합부의 금속학적 특성 및 강도 평가를 통하여 최적 확산접합 조건을 찾아 보고자 하였다.

2. 시험방법

본 실험에 대한 개략적인 절차를 그림 1에서 나타내었으며 구체적인 내용은 아래와 같다.

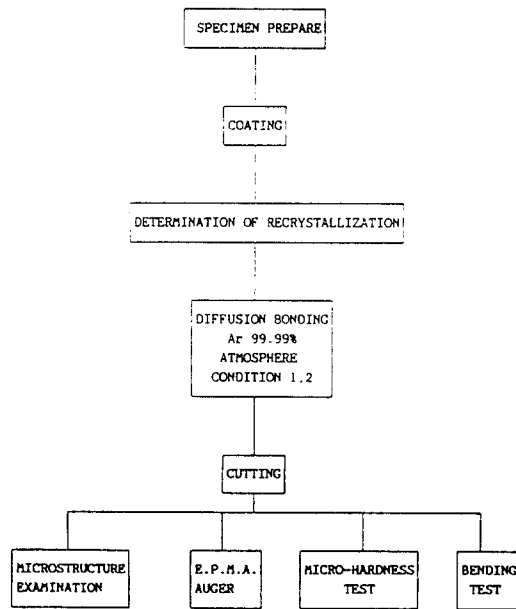


Fig. 1 Experimental procedures of diffusion bonding

2.1. 시편 준비 및 전처리

공업용 Mo재료는 탄소 함량의 증가에 따라 재결정 온도가 높아지고 인장 강도도 증가하는 경향이 있지만 탄소 함량이 어느 정도 이상이 되면 연성이 저하되어 재료가 취약(Brittle)해지므로 약 300ppm 이하로 제한하고 있다⁵⁾. 따라서 본 실험에서도 탄소 함량이 300 ppm 이하인 재료를 사용하였으며 사용한 시편은 7 mm φ의 Mo 봉재이며 화학적 조성은 표1과 같다.

Table 1 Chemical composition fo studied Mo specimen

Composition (PPM)	C	O	N	Si	Fe	Mo	Remark
	270	192	12	80	-	base	7 φ bar

일반적인 Mo용접 경우 용접전처리는 상당히 중요하다. 대개의 경우 산화피막, 기름, 기타 이물질에 의한 불순물의 영향은 용접시 용접균열 및 재료의 취화에 매우 큰 영향을 미친다. 접합의 경우도 고온에서 작업이 행하여지므로 이러한 불순물들은 완전히 제거하여야 하며, 이를 위해 본 실험에서 사용한 전처리 공정은 다음과 같다.

첫째 : 아세톤 탈지

둘째 : 10% NaOH+0.5% KMnO₄ 수용액 중에서 5~10분간 침지(온도 : 70℃)

셋째 : 15% H₂SO₄+15% HCl+6~10wt% CrO₃ 수용액 중에서 5~10분간 침지(실온)

넷째 : 수세 및 건조

2.2. 코팅(Coating)처리

확산접합의 특징은 삽입금속을 사용하지 않는 시간에도 상호 확산에 의해 궁극적으로는 경계부를 없애는데 최종 목적이 있다. 따라서 삽입금속을 사용하는 경우는 선행 조건으로 고용도가 큰 것이 좋다. 그러나 Mo의 경우 대부분 원소와의 고용도가 적거나 거의 고용하지 못한다.

따라서 Mo의 확산접합에 금속을 사용한 예는 있으나 많지는 않은 실정이며 다만 Ti, Cu, Fe 등을 삽입금속으로 사용하여 접합강도를 개선시켰다는 보고는 있다.^{4,5)}

본 실험에서는 우선 상태도 상에서 가장 고용 범위가 넓은 원소를 이용하고자 하였으며 Cr의 경우가

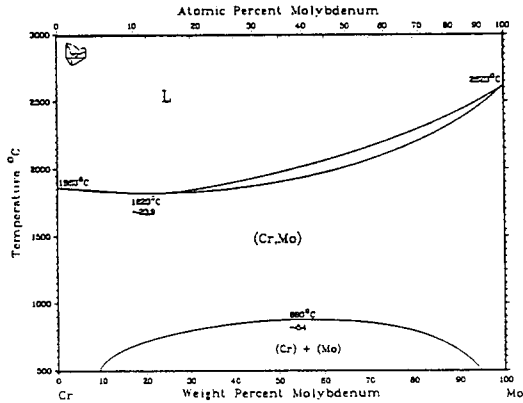


Fig. 2 Phase diagram of Mo-Cr

그림 2에서 보는 바와 같이 전범위에 걸쳐 고용체를 형성하고 있으므로 이를 삽입금속으로 선정 하였다.

삽입금속을 제조하는 방법에는 여러가지 있으나^{6,7)} 삽입금속의 두께를 얇게 할수록 확산시간은 줄일 수 있으므로 진공증착이나 도금에 의한 방법이 보다 효과적이다. 경제적인 측면에서 볼 때는 도금이 유리 하나 Mo에 Cr을 도금시 유독가스가 발생하고⁸⁾ 도금량을 정확하게 관찰하기가 힘들다는 단점이 있기 때문에 본 실험에서는 진공증착에 의해 Cr막을 형성시켰으며 그 조건은 표 2와 같다.

Table 2 Cr Coating condition on Mo by PVD method

Vacuum (Torr)	Power (W)	Time (Hr)	Thickness (μ)
10^{-6}	900	1	4

Cu의 경우 경납땀 및 확산접합시^{5),9)} 다른 용가재에 비해 우수한 접합강도를 나타내고 있다. 게다가 Cu의 경우 도금에 의한 코팅막을 형성시키기가 가장 용이하며 도금상태를 육안으로 쉽게 구별할 수 있어 비교재로서 Cu 코팅을 더불어 수행하였으며 그 조건은 표 3과 같다.

Table 3 Electroplating condition of Cu on Mo

Plating bath	Anode	Current density (A/dm^2)	Time (min)	Thickness (μ)
CuSO ₄ 200g/l H ₂ SO ₄ 50g/l	copper	1.0	3	4

2.3. 재결정 온도의 결정

Mo는 일단 재결정화가 되면 취약하게 되기 때문에 재결정이 되지 않는 범위내에서 접합을 하는 것이 필요하다. 순수 Mo의 경우 문헌에 따라 다소 차이는 있으나 1000~1200°C사이에서 재결정이 일어나는 것으로 보고 되어 있다^{9,10)}.

따라서 본 실험에서는 예비단계로서 재결정 온도를 결정하는 실험을 하였으며 시편을 1000°C, 1100°C, 1150°C, 1200°C의 4가지 온도구역에서 10분간 가열하였다.

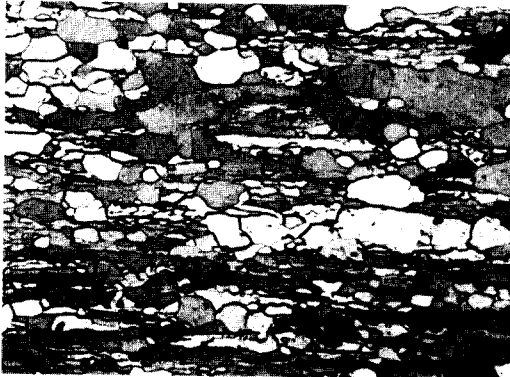
그 결과를 나타낸 것이 사진 1인데 사진에서 보듯 완전히 재결정이 일어나지 않은 온도구간은 1000°C임을 알 수 있다. 그러나 실제 작업시간이 지남에 따라 재결정 온도는 다소 낮아질 수 있으므로 안전성을 고려하여 접합은 950°C에서 실시하였다.



a) 1200°C



b) 1150°C



c) 1100°C



d) 1000°C

Photo. 1 Microstructures of heat treated Mo specimen (10min)

2.4. 열 사이클(Heat Cycles)

확산집합시 일반적인 작업공정은 그림3의 조건 2와 같이 일정 압력 및 온도하에서 작업을 하도록 되어 있다.

Mo의 경우 예비실험 결과 시편의 소성변형이 없이 950°C에서 견딜 수 있는 최대 압력은 400kg(10.4kg/mm²)이었다. 그런데 보다 높은 온도에서 작업을 한다면 확산속도를 증가시킬 수가 있어 접합강도는 훨씬 개선될 수 있을 것이다. 하지만 Mo의 경우 작업온도가 재결정 온도 이상이 되면 재료가 취약해지므로 고온에서의 확산효과를 노리기 위해 그림 3의 조건 1과 같이 1150°C에서 1분간 가열하고 나머지 시간은 정상조건에서 작업하므로써 확산 속도를 증진시키고자 하였으며 동시에 Cu 코팅층의 경우 용점이 1083°C이므로 1150°C에서 Cu코팅층을 액상화(Li-

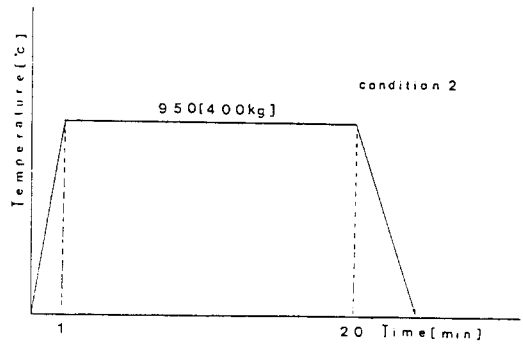
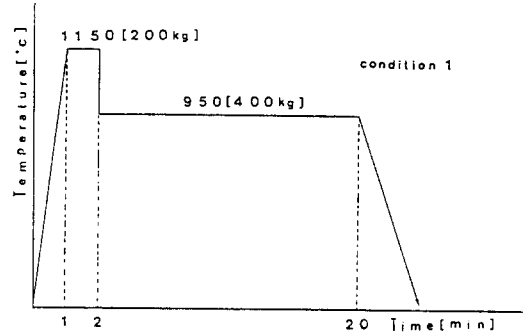


Fig. 3 Heating cycles of condition 1 and 2

quify)시키므로써 액상 확산집합의 영향을 관찰 할 수 있도록 하였다.

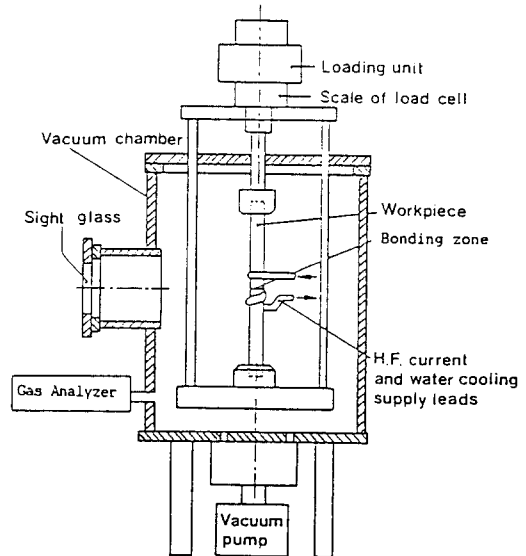


Fig. 4 Schematic diagram of high frequency induction furnace

가열에 필요한 전체 접합시간은 20분으로 하였으며 그림 4와 같은 고주파 가열로를 사용하여 10^{-2} Torr까지 감압후 아르곤 99.99% 분위기 하에서 초당 50°C 로 가열하였다.

2.5. 조직학적 검사(Micro Structure Examinations)

접합부에서 조직학적 검토를 위해 광학현미경 및 SEM을 이용하였으며 접합부에서의 성분 분포정도를 관찰하기 위해 E. P. M. A 및 Auger 실험도 병행하였다.

2.6. 미소경도시험(Micro Hardness Test)

접합부의 폭이 수 μm 단위이기 때문에 접합부에서의 경도 분포를 관찰한다는 것은 상당히 힘들며 비커스 경도계를 사용할 때 특히 5g 이하의 하중을 사용시 경도값에 대한 신뢰도는 더욱 떨어지게 되므로 본 실험에서는 10g의 하중을 사용하였다.

2.7. 굽힘시험(Bending Test)

굽힘시험은 시험특성상 강도값의 신빙성이 다소 떨어지는 점은 있으나 Mo 봉재 자체의 값이 엄청난 고가인 점을 감안할 때 실험에 필요한 시편의 크기를 최소화 할 수 있다는 장점이 있기 때문에 본 실험에서는 기계적 특성 평가 실험으로서 굽힘 시험을 행하였다.

시험 조건을 나타낸 것이 표 4이며 시험후 파면분석을 통해 성분분석 실험을 행하였다.

Table 4 Bending test condition of diffusion bonding joints

diameter(mm)	test type	cross speed(mm/min)
7.0	3 point bend	1.5

참고로 시험치에 대한 비교값으로서 표 5에 100Mo, electrolytic Cr 및 Cu의 기계적 성질을 나타내었다.

Table 5 Tensile strength of used materials

Material	Property	Tensile Strength (Mpa)	
		Room Temperature	800 $^{\circ}\text{C}$
100Mo		500	250
Electrolytic Cu		220	10
Electrolytic Cr		83	180

3. 실험결과 및 고찰

3.1. 조직학적 검토

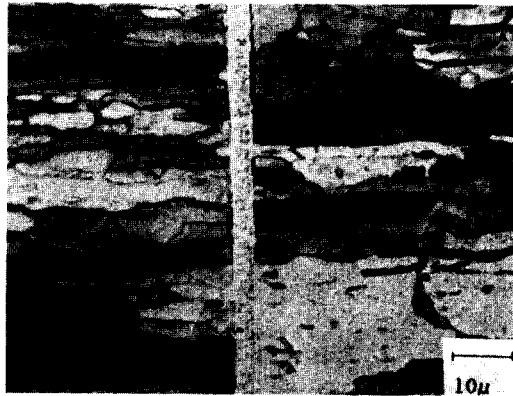
접합경계부의 조직을 확인하기 위하여 광학현미경과 SEM을 이용하여 관찰하였다. 광학현미경 관찰(사진2)에서는 Cr 코팅한 접합부의 경우 Mo와 Cr의 경계부에서 Mo입계가 약간 완만한 형태임을 확인할 수 있는데 이것으로 미루어 보아 어느 정도는 확산이 일어났을 것으로 짐작이 된다.

Etching한 시편을 SEM(사진 3)으로 관찰 하였을 때 Cr 코팅층의 경우 모재와 코팅층과의 경계부에서 약간의 확산층이 형성됐으리라는 것을 짐작할 수는 있으나 정확한 것을 알 수는 없으며 접합후에도 조건 1, 2 모두 거의 일정한 두께의 코팅층을 그대로 유지하고 있음을 알 수 있다.

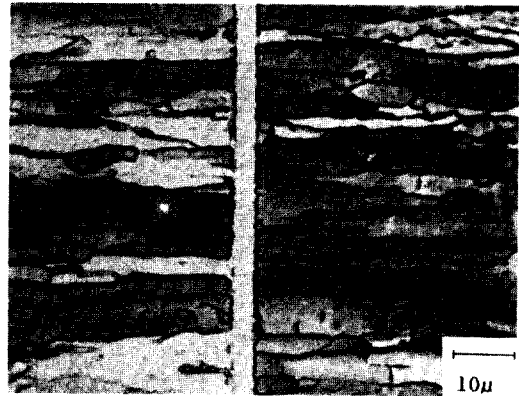
Cu 코팅층을 이용한 접합시 조건 1과 같은 2단계 열 사이클을 가한 경우는 Cu 코팅층이 용융되므로 가압력에 의해 시편의 바깥쪽으로 대부분 밀려나고 일부만이 남아 있게 되어 c)와 같은 상태가 됨을 알 수 있다. 조건 2와 같은 1단계 열 사이클을 가한 경우 코팅층이 소성 변형되어 두께가 반으로 줄어들긴 하였으나 접합면에 여전히 존재함을 알 수 있다.

사진 3의 e) f)는 코팅층 없이 직접접합 한 경우의 접합부위를 나타낸 것인데 조건 1의 경우 사진 e)와 같이 접합 경계면은 f)에 비해 상당히 좁고, 접합이 이루어져 직선상의 입계를 형성하고 있는 부분과 보이드로 존재하고 있는 부분이 혼재하고 있다. 또한 보이드 내에서 계재물이 존재한다.

그러나 f)의 경우 접합부의 간격이 크고 완전한 접합이 이루어진 곳이 거의 없음을 볼 수 있고, 접합부 계면에서는 피상의 계재물로 가득 메워져 있음을 볼 수 있다. 이와같은 계재물은 접합에 큰 영향을 미칠 것으로 예상되므로 Auger를 이용하여 계재물을 분석 하였으며 그 결과를 사진 4에 나타내었다. 계재물에서 산소 피크가 나타나는 것으로 보아 이 피상의 계재물은 Mo 산화물일 것으로 생각된다. 따라서, 직접접합하는 경우에는 접합중에 Mo의 표면에 산화물이 형성되어 접합이 곤란하게 되고, 조건 2와 같이 접합온도가 낮은 경우에는 Mo의 소성변형도 일어나기 어렵기 때문에 접합이 더욱 이루어지지 않을 것으로 사료된다.



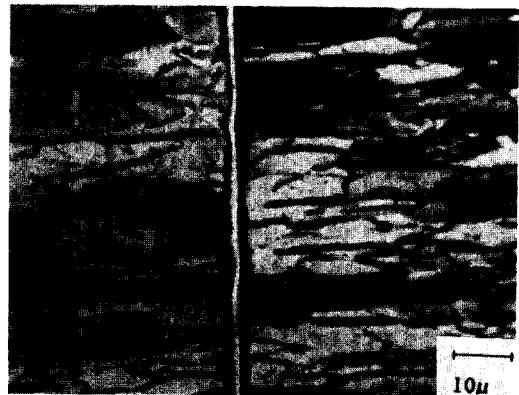
a)



b) : Cr coating



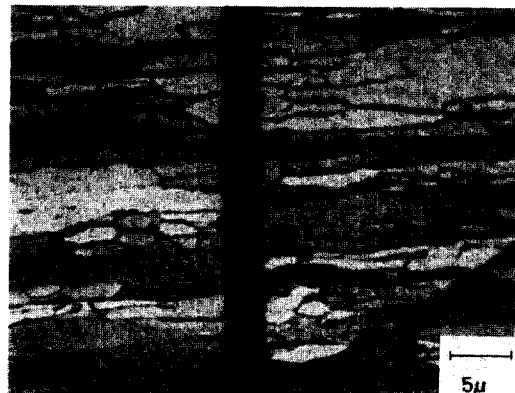
c)



d) : Cu coating

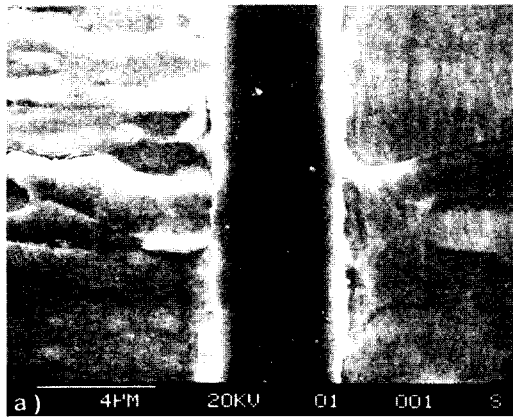


e)

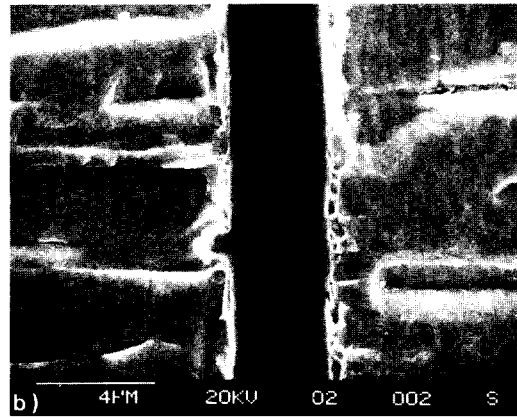


f) : non coating

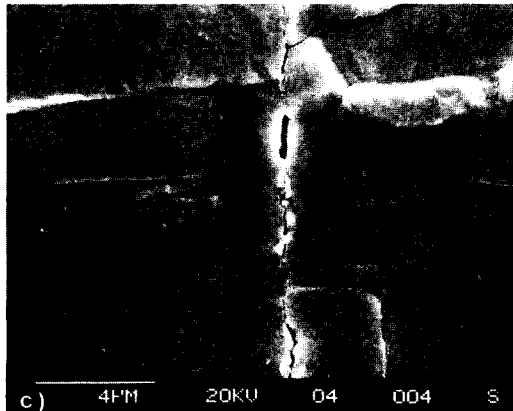
Photo. 2 Microstructures of diffusion bonded Mo



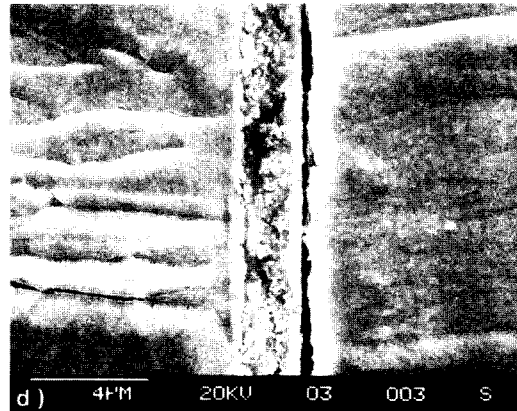
a)



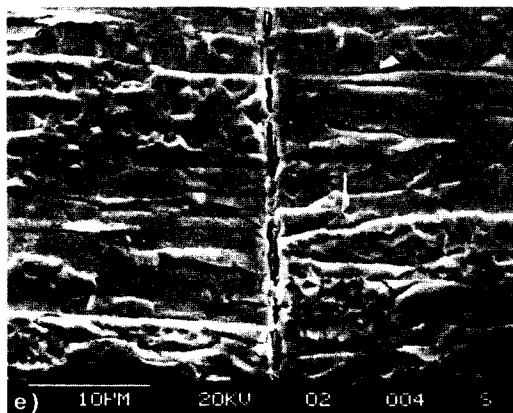
b) : Cr coating



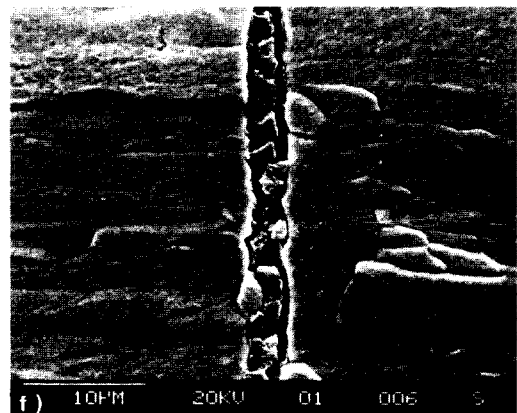
c)



d) : Cu coating



e)



f) : non coating

Photo. 3 SEM micrography of diffusion bonded Mo

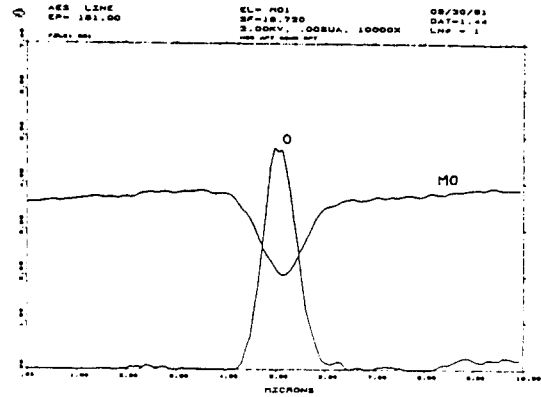
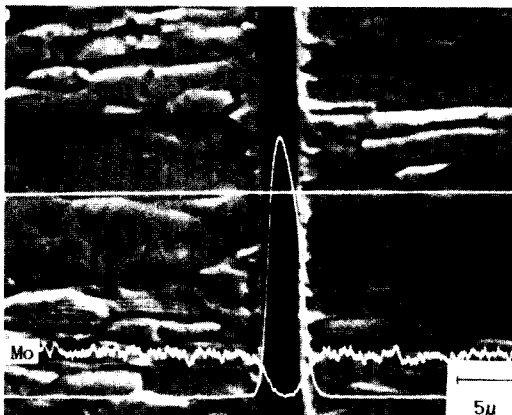
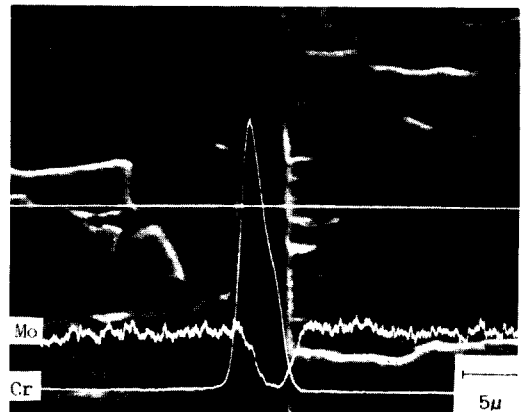


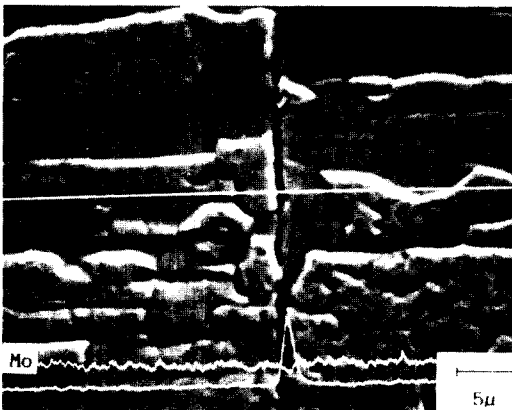
Photo. 4 Auger analysis of f) of Photo. 3.



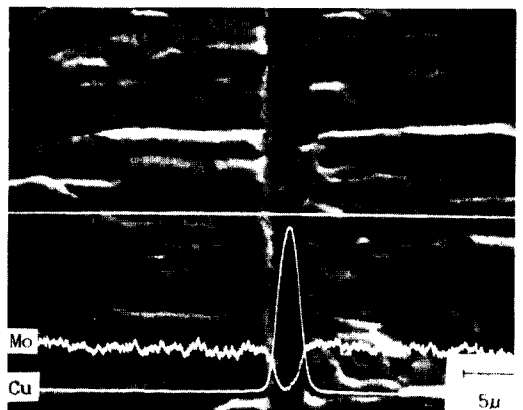
a) condition 1 Cr coating



b) condition 2 Cr coating



c) condition 1 Cu coating



d) condition 2 Cu coating

Photo. 5 EPMA results of diffusion bonded joints

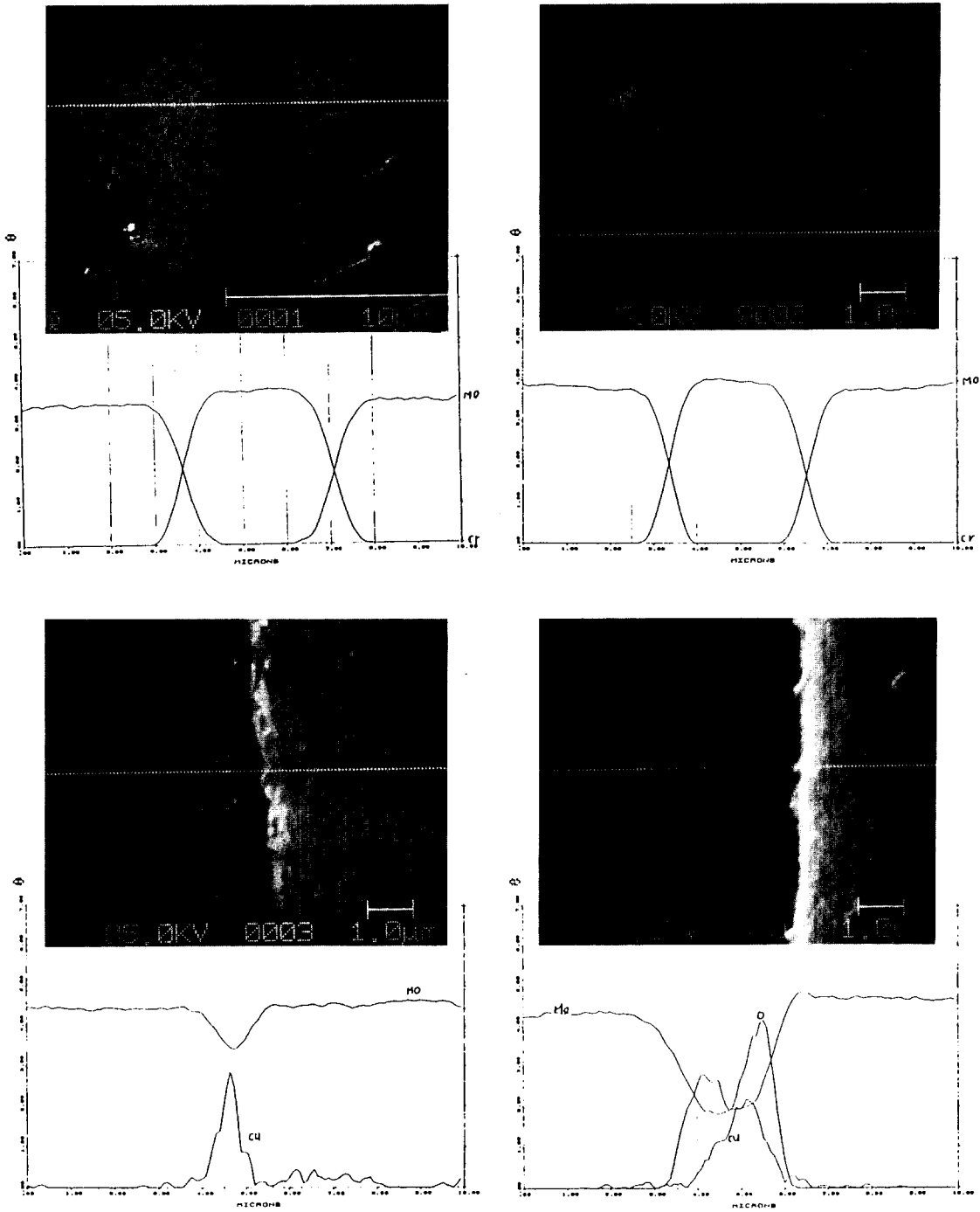


Photo. 6 Auger analysis of Photo. 5.

아직까지 집합에서 확산층에 대해 정확하게 정의를 내리고 있는 것은 적은것 같다. 본 연구에서는 확산층을 조사하기 위해 일차적으로 광학현미경이나 SEM을 이용하여 앞에서 살펴보았다. 그러나 확산층이 좁은 경우는 조직학적 사진만을 가지고는 확산층을 예측하는데 다소 무리가 따르므로 EPMA를 이용하여 확산층을 분석하였다.

사진 5는 계면에서의 확산층의 농도구배를 살펴보기 위해 EPMA 선분선을 행한 결과를 나타낸 것이다. a) b) c) d) 모두 1~2μ내외의 농도구배를 가지며 Cr 코팅층의 경우 농도구배가 생기는 영역(여기서는 이것을 확산층이라고 정의함)이 Cr 코팅층에 비해 다소 넓은 것을 알 수 있다.

그러나 사진에서 보는바와 같이 확산층이 매우 좁으므로 EPMA에서 사용되는 전자빔의 크기를 고려해 볼 때 정확한 자료라고 생각할 수는 없다. 따라서 빔의 크기가 이보다 훨씬 작은 3000Å 정도 되는 Auger 빔을 이용 확산층을 좀더 정확히 정량적으로 분석할 필요가 있다.

사진 6은 Auger를 이용 산화층을 제거후 점선부위를 따라 성분분포를 조사한 그림이다. a) b)는 Cr 코팅의 경우를 나타낸 것인데 집합조건에 관계없이 확산층이 1.5μ 정도됨을 알 수 있다. 이론적인 계산에 의할것 같으면 조건1의 시편에서 1150°C에서 1분간 유지했을 때 몰리브덴 내에서의 Cr의 확산계수 $D=A \exp^{-Q/RT}$ 이므로 몰리브덴 내에서의 Cr의 빈도인자 A 및 활성화에너지 Q를 식에 대입하여 D를 구하면 $5.25 \times 10^{-17} \text{m}^2/\text{s}$ 가 되며 따라서 초기농도의 1/2이 되는 지점을 계산해보면¹¹⁾ 거리 $X=\sqrt{Dt}$ 로부터 0.06μ이라는 값을 얻을 수 있다. 이러한 사실로 부터 조건 1과 같이 고온에서 단시간 가열을 더 시킨다 하더라도 확산거리가 상당히 작기 때문에 Cr코팅의 경우는 조건1과 조건 2가 확산층이 거의 비슷 하리라는 것을 알 수가 있다. c) d)는 Cu 코팅의 경우를 나타낸 것으로서 농도구배가 생기는 거리를 보면 집합조건에 관계없이 1.0μ정도됨을 알 수 있다. 그런데 d)의 경우 c)와는 달리 Cu와 Mo와의 계면에서 산소가 많이 나타남을 알 수 있는데 이는 Cu의 전기도금시 Cu내로 유입된 산소가 가열시 계면쪽으로 확산하였기 때문으로 판단되며 c)의 경우는 산소가 나타나지 않는데 이는 초기에 용융에 의해 Cu가 바깥으로 밀려났기 때문으로 사료된다.

Cu코팅의 경우를 보면 상태도 상에서 Cu가 Mo에 전혀 고용되지 않음에도 불구하고 약 1μ정도의 확산

층을 가지는 것을 볼 수 있는데 이는 좀더 많은 연구를 해보아야 할 것으로 생각되나 확산층이 상당히 작은 거리이므로 측정한계에 의한 오차 일수도 있음을 간과 할수는 없을 것이다.

3.2. 경도시험결과

그림 5의 a) b)는 조건별 집합시편의 경도를 나타낸 것이다.

조건 1과 2 모두 비슷한 양상을 나타내는 것으로 보아 열 사이클에 따른 경도분포의 변화는 크지 않은 것으로 판단된다. 다만 Cu코팅층을 사용할 경우 조건 2에 있어서 Cu가 집합부에 남아있게 되므로 조건 1에 비해 경도치가 약간 떨어지는 양상을 보이고 있다. 그런데 Cr코팅층을 사용한 경우 집합부에서 매우 큰 경도치를 나타내고 있음을 알 수 있는데 이는 Mo와 Cr과의 합금화 및 Cr자체의 높은 경도치에 기인한 때문일 것으로 사료된다.

3.3. 굽힘시험결과

표 6은 굽힘시험결과를 나타낸 것이다.

Table 6 Bending fracture strengths of diffusion bonded joints

(unit : Mpa)

	condition 1	condition 2
Cr coating	16.6	14.3
Cu coating	47.2	47.8
non coating	2.3	1.1
Base metal (non heatreated)	161	

결과를 보면 2단계 집합이 Cr코팅층을 사용한 경우 및 코팅층을 사용 하지 않은 경우에 있어 1단계 집합에 비해 굽힘강도가 약간 상승된 것을 알 수 있다. 그러나 이 값은 실험오차 내의 미소한 값으로서 열사이클변화에 따른 굽힘강도 값의 변화는 크지 않음을 알 수 있다.

Cu 코팅층을 사용한 경우는 조건 1, 2 모두 파면양상에 상당히 다름에도 불구하고 값이 비슷한 수치를 나타내고 있는데 이에 대한 원인은 좀더 연구되어야 할 것으로 생각된다.

Cu 코팅층과 Cr 코팅층을 사용한 경우를 비교해

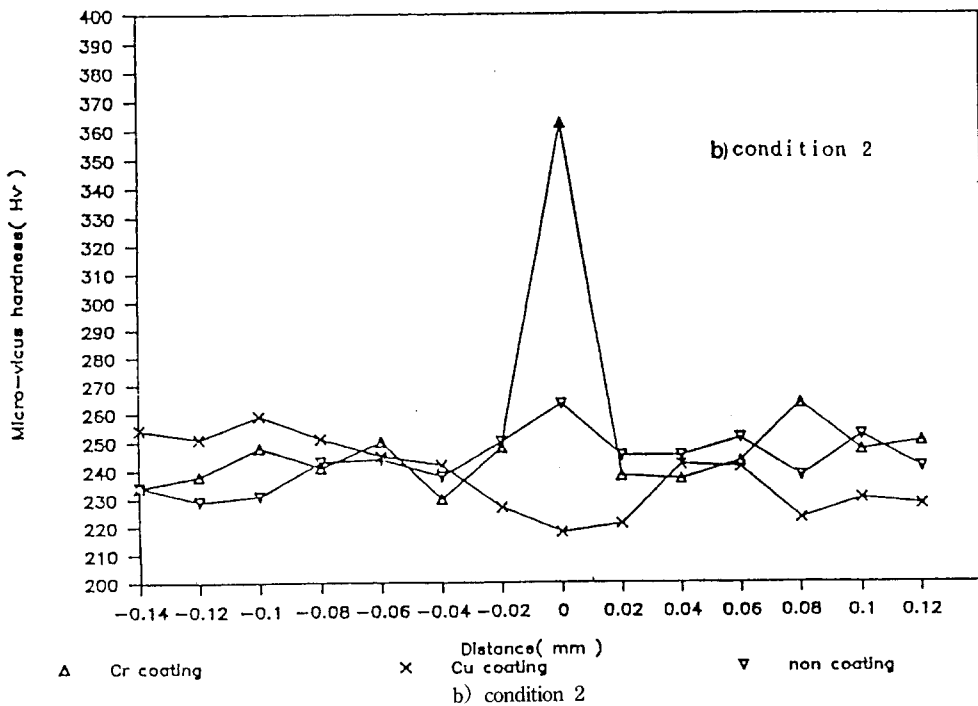
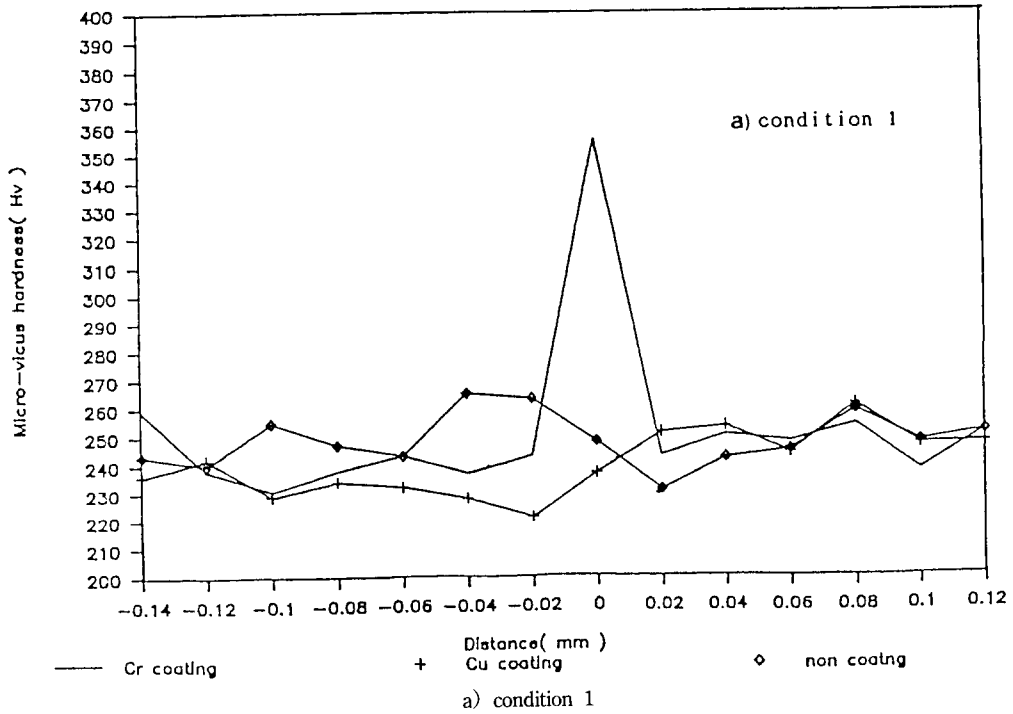


Fig. 5 Hardness distribution at diffusion bonded joints

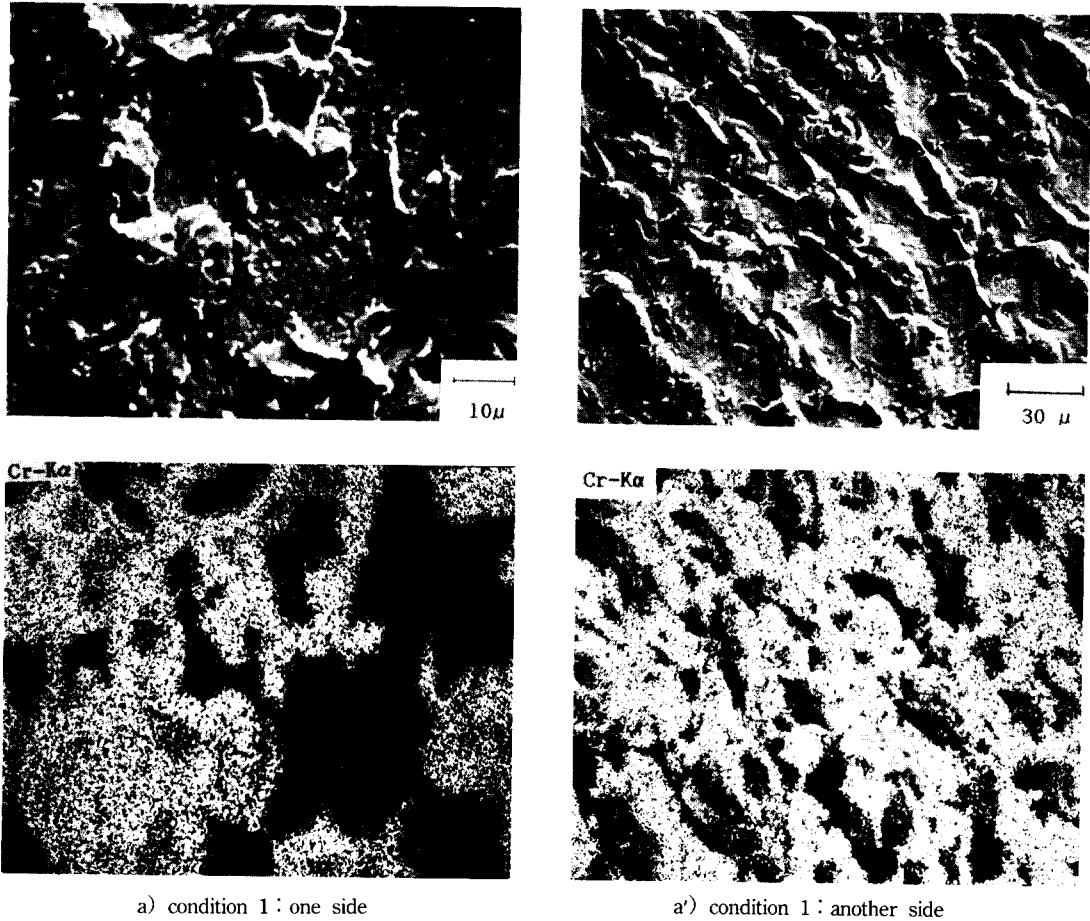


Photo. 7 EPMA results of fracture surface (Cr coating)

보면 Cu를 사용한 경우가 Cr을 사용한 경우에 비해 굽힘강도 값이 훨씬 높게 나타나는 것을 알 수 있다. 이것은 Cu가 Cr에 비해 연성이 높아 얇은 Cu층이 상온에서의 굽힘강도에 영향을 미치지 때문으로 생각된다.

따라서 Cr의 경우 굽힘강도 값을 증가시키기 위해서는 확산시간을 더 길게하든지 혹은 코팅층 두께를 더욱 얇게 해줄 필요가 있을 것으로 생각되며 이에 대한 연구는 추후 계속 수행할 예정이다.

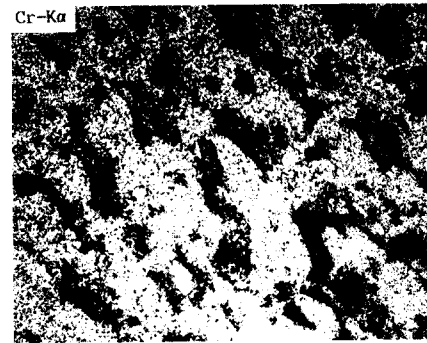
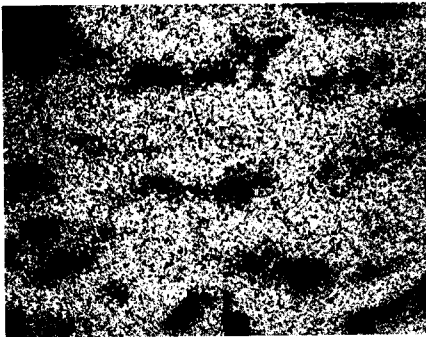
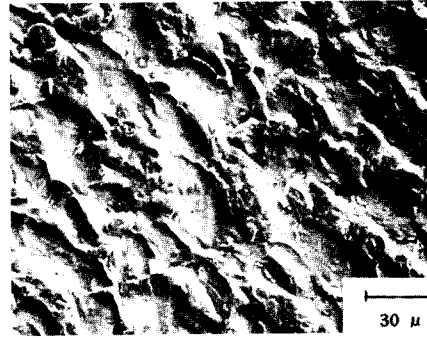
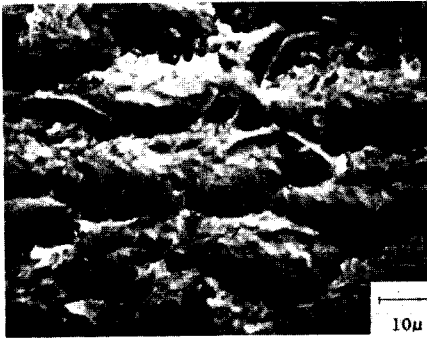
코팅층을 사용하지 않은 경우, 사진 3에서 보듯 조건 1의 경우가 조건 2 보다는 접합부가 얇게 밀착되어 많은 접합을 이루고 있어 굽힘강도 값을 약간상승시킨 것으로 보인다. 그러나 전반적으로 코팅층을 사용한 것에 비하면 상당히 낮은 값을 나타내므로 Mo의 확산집합에서는 코팅층을 사용하는 것이 바람직함을 알

수 있다.

3.4. 파면분석결과

사진 7은 Cr 및 Cu 코팅층을 사용한 경우의 파면 향상을 나타낸 것이다. 면분석결과는 통해 알 수 있듯 Cr 코팅층을 사용한 경우 조건 1, 2 모두 대부분 Cr 코팅층 자체에서 파괴가 되었음을 알 수 있는데, 이러한 사실로 미루어 계면에서는 어느 정도의 확산이 일어나 접합이 되어 있음을 알 수 있다.

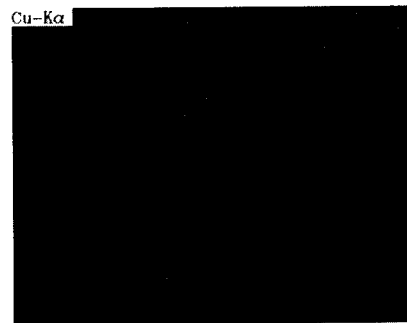
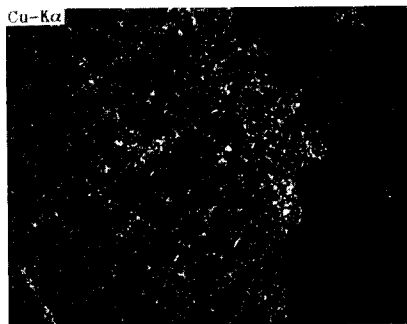
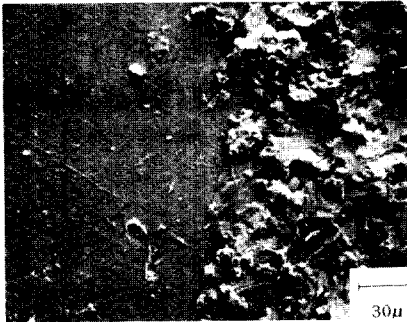
Cu 코팅층을 사용한 경우 조건 1과 2가 상이한 현상을 나타내고 있다. 2단계 접합을 한 경우 파면 양상이 사진 c)와 같이 시편의 중앙부에서는 코팅층이 거의 없기 때문에 경계부를 따라 거의 직선형태로 파단되다가 시편 바깥쪽에서는 모재를 따라 파단이



b) condition 2 : one side

b') condition 2 : another side

Photo. 7 EPMA results of fracture surface (Cr coating)



c) condition 1

d) condition 2

Photo. 7 continued (Cu coating)

일어난 것을 알 수 있다.

시편 중앙부에는 Cu가 존재하기는 하나 c)와 같이 아주 얇은 막 형태를 이루고 있어 그 분포가 많지 않음을 알 수 있고 따라서 그림 c)의 중앙부와 같이 직선형태의 파단이 일어나 접합강도에는 큰 기여를 못할 것으로 판단되며 c)의 경우 굽힘강도에 기여하는 것은 바깥부위에 남아 있는 Cu 때문일 것으로 생각된다. 조건 2와 같은 경우 파면부위의 면분석결과 Cu가 거의 나타나지 않는 것으로 보아 모재를 따라 파단이 일어난 것으로 생각되며 이는 육안으로도 관찰이 가능하다.

그러면 Cu코팅층을 사용한 경우 왜 파단이 한결 같이 모재를 따라 일어난 것일까? 이에 대한 정확한 원인은 알 수 없다. 그러나 Mo의 경우 비록 미량의 O₂가 존재할지라도 고온이 되면 O₂가 Mo내에 확산해 들어가 재료가 취화되어⁹⁾ 굽힘강도 값이 떨어질 수 있으므로 이러한 O₂의 영향을 배제할 수 없으면 표 6의 Mo 자체의 열 사이클 전의 굽힘 강도 값을 비교해 볼때 열 사이클을 가한후 그 값이 현저히 떨어지는 것으로 보아 가열시 충분한 진공에 주의를 기울이거나 Cu 코팅을 적용시 도금에 의해 사용하지 않고 진공 증착에 의해 사용할 필요가 있을 것으로 판단된다.

4. 결 론

Mo 봉재에 Cr 및 Cu를 코팅하여 두가지 열사이클 조건 [조건1: 1150°C에서 1분간 유지(압력은 2.6kg/mm²) 후 950°C에서 18분간 유지(압력은 5.2kg/mm²) 조건2: 950°C에서 19분간 유지(압력은 5.2kg/mm²)]에서 확산접합을 실시하고 접합부위의 조직학적 분석 및 강도시험을 한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) Cr을 삽입금속으로 사용한 경우 조건 1, 2 모두 두께 변화는 거의 없이 1.5 μ 의 확산층을 형성하였으나 Cu를 사용한 경우 조건 1, 2 모두 1.0 μ 의 확산층을 볼 수 있었으며 조건 2에서는 삽입금속의 두께가 반으로 줄어들었고 조건 1에서는 용융에 의해 Cu가 시편 바깥쪽으로 밀려간 형태를 이루고 있었다.
- 2) 코팅층을 중간재로 사용시 굽힘강도 값은 사용하지 않은 경우에 비해 훨씬 높게 나타났으며 코팅층을 사용한 경우 Cu를 사용했을 때가 Cr을 사용했을 경우 보다 4배 정도 더 높은 굽힘강도를 나타냈다.

- 3) 열 사이클 변화에 따른 경도분포 변화는 거의 없었으며 Cr 코팅층을 사용한 경우 접합부에서 상당히 높은 경도치를 나타냈는데 이는 합금화 및 Cr 자체의 경도값에 기인한 것이다.
- 4) 파면분석 결과 Cr 코팅층을 사용한 경우는 대부분 파단이 삽입 금속 자체에서 일어났고 Cu 코팅층을 사용한 경우는 파단이 모재를 따라 일어났는데 Cu의 경우 모재를 따라 파단이 일어나는 것을 O₂의 영향에 의한 것일 가능성이 크다.

참 고 문 헌

- 1) Cole. N. C. : Development of Corrosion-resistant filler metals for Brazing Molybdenum, Welding J., Vol.52, (1973), p.446S
- 2) Takashi Murakami : Joining of Molybdenum and It's Alloys, 용접학회지, 제57권 4호, (1988), p.105-113
- 3) N. E. Weare : Ductility of Tungsten-Arc Welds in Molybdenum, Welding J., June, (1957), p.291S~200S
- 4) R. E. Moner : Fabrication and Welding of Arc cast Molybdenum, Welding J., Oct., (1956), p.488S~198S
- 5) Mayer. H. G. : Diffusion bonding of Molybdenum and TZM, Planseeber Pulvermetall., 26(3), (1978), p.157~171
- 6) Hashimoto : Diffusion Welding of Molybdenum, Trans. National Res. Inst. for Metals, Vol.11, No.5, (1969)
- 7) Melvin, M. Schwartz : Source Book on Innovative Welding Process, ASM, (1981), p.257
- 8) Gobe : Principl of Metal Surface Treatment and Protection, (1978), p.37
- 9) Jamesh : Joining of Molybdenum, Welding J., Sept., (1954), p.449S
- 10) M. M. DeDonald : Wettability of Brazing filler metals on Molybdenum and TZM, Welding J., Oct., (1989), p.389S
- 11) Barrett외 : The principles of engineering materials. ch. 5(1980)