

研究論文

WC-9%Co와 SUJ2강의 접합특성에 미치는 열처리의 영향

鄭夏允* · 金鐘澈** · 朴景采***

The Effects of Heat-treatment on Brazing Characteristics of WC-9%Co/SUJ2 Steel

H. Y. Jung*, J. C. Kim** and K. C. Park***

Key words : brazing(브레이징), insert metal(삽입금속), joint(접합체), oil quenching(유냉), heat-treatment(열처리), bonding strength(접합강도)

Abstract

In the study, the bonding of WC-9%Co to SUJ2 steel using Ag-Cu-Zn-Cd insert metal has performed to investigate the bonding properties by heat-treatment. Bonding was brazed for 5~30min at 950℃, performed solution treatment for 5min at 850℃ and sustained subsequently oil quenching. To investigate the effect of heat-treatment, tempering was executed at 600℃ for 30 min after oil quenching.

Mechanical properties and chemical compositions on the brazed bonding interface were investigated by means of microstructural observation, 4-point bending test and EDS and XRD measurements.

The results obtained were as follows.

- 1) The bonding strength of WC-9%Co/SUJ2 joints by Ag-Cu-Zn-Cd insert metal obtained about 78, 117 and 72MPa after brazing for 5, 20 and 30 min at 950℃. And the highest bonding strength obtained about 131MPa after brazing for 10 min at 950℃.
- 2) Higher bonding strength of 288MPa was obtained in the joint that brazed for 10min at 950℃, and carried out tempering for 30min at 600℃ subsequently.
- 3) Fracture of joint brazed by Ag-Cu-Zn-Cd insert metal for 5, 10, 20 and 30min created WC-9%Co/SUJ2 interface. The joint that brazed for 10min at 950℃ and then tempered for 30min at 600℃ was fractured at the site of WC-9%Co.

* 1997년 1월 16일 접수

* 비회원, 경북대학교 금속공학과

** 비회원, 동명전문대학 금속과

*** 정회원, 경북대학교 금속공학과

1. 서 론

초경합금은 9종류의 금속탄화물을 대상으로 이들 탄화물 분말을 Fe, Co, Ni등의 철족 금속을 사용하여 소결결합한 합금을 총칭한다. 이 합금들은 상온 및 고온에서의 경도와 내마모성, 강도 등의 기계적성질이 우수하고 물리적 성질이 안정한 것이 특징이다. 9종류의 탄화물, 즉 WC, ZrC, HfC, VC, NbC, TaC, Cr₃C₂, Mo₂C, TiC중에서 WC-Co계 합금의 기계적 성질이 가장 우수하고 가장 많이 사용되고 있으므로 보통은 이 합금계를 초경합금이라고 한다¹⁾. 그러나 이러한 초경합금은 세라믹과 같이 인성이 낮으므로 취성파괴를 일으키기 쉽고 제조기술의 한계 때문에 구조물 전체로 제조하기는 불가능하다²⁻⁴⁾. 이와 같이 가공성이 열악한 결점을 금속과 접합하여 초경합금의 우수한 특성을 살리는 것이 합리적이다. 이러한 관점에서 세라믹과 금속의 접합법을 사용하고 있다. 금속과 세라믹의 접합에는 기계적 방법, 접착체에 의한 방법, 활성금속브레이징에 의한 방법, 확산접합법 등⁵⁻⁶⁾이 있으나 이 중 브레이징에 의한 접합이 가장 신뢰도가 높을 뿐 아니라 금속과 세라믹의 장점을 모두 살릴 수 있으므로 현재 많이 사용되고 있다.

WC-Co계 초경합금은 주철 및 도자기처럼 단단하나 부서지기 쉬운 재료의 가공에 적합하고, 또 내마모성이 크므로 신선용 다이스에 이용되고 있다⁷⁾. WC-Co계 초경합금은 Co의 함유량 및 WC의 입도에 따라 경도와 인성이 조정되며 광산 착암기 비트와 같은 것은 어느정도 경도를 낮춰서라도 인성을크게 하는 경우가 많다. 현재 국내에서는 강 및 주철의 고속 절삭용 공구와 내충격, 내마모성이 요구되는 채석용 공구에 WC-9%Co계 초경합금을 공구의 금속 부위에 접합하여 이용하고 있다.

이렇게 여러 분야에 이용되는 WC-9%Co계 초경합금의 금속접합에는 활성금속브레이징을 이용하고 있으나 접합시 여러 문제점이 생기고 있다. 일반적으로 초경합금이나 세라믹은 금속에 비해 열팽창계수가 훨씬 작기 때문에 금속과 세라믹 및 초경합금의 접합체에 이러한 열팽창계수의 차이에 의해 생기는 잔류응력이 접합시에 큰 문제가 된다⁸⁻¹⁰⁾. 그 외에 세라믹과 용융된 삽입금속의 젖음성 문제, 접합시 분위기에 의한 접합부의 산화문제 등 여러 가지 문제가 제기되고 있다.

본 연구에서는 Ag-Cu-Zn-Cd계 삽입금속을 사용하여 WC-9%Co와 SUJ2강을 Ar분위기에서 브레이징한 후, 그 특성을 조사하고, 접합 후 열처리에 따른 접합강도의 변화, 접합체의 계면특성, 접합부의 조직, 생성상 등을 조사하여 가장 적절한 접합조건을 선정하였다.

2. 실험 방법

모재는 채석용 공구로 사용되고 있는 WC-9%Co계 초경합금을 10×10×15mm의 크기로 준비하고 상대접합재료로써 SUJ2강을 같은 크기인 10×10×15mm의 크기로 절삭가공하여 사용하였다. 삽입금속은 용점저하와 접합강도 증대를 위해 Ag-Cu-Zn-Cd계를 사용하였다. 한편, 본 실험에서 사용된 삽입금속의 용융점은 열분석결과 606.6℃였다. SUJ2강과 삽입금속의 성분은 Table.1에 나타내었다.

접합 전처리로서 WC-9%Co와 SUJ2강은 접합할 표면을 #1000 SiC paper로 연마하고 삽입금속은 11×11×0.16mm 크기로 10분간 초음파 세척하였다.

Fig.1은 본 실험의 접합 및 열처리 사이클을 나

Table 1. Chemical compositions of SUJ2 steel and insert metal.

SUJ2 steel	Composition (wt%)						
	C	Si	Mn	P	S	Cr	Fe
	0.95-1.10	0.15-0.35	<0.50	<0.025	<0.025	1.30-1.60	bal
Insert Metal	Cd		Zn		Cu		Ag
	22.15		18.90		23.15		bal

타내었으며, 접합은 Δr분위기 관상로에서 접합온도는 950℃, 접합시간을 5분, 10분, 20분, 30분으로 변화시키고, SUJ2강의 강화를 위해 850℃에서 5분간 유지한 후 oil quenching하였다. 한편, 열처리에 대한 영향을 알아보기 위해 최대강도가 얻어졌던 접합시간 10분의 접합체를 접합 후에 600℃에서 30분간 유지한 후 공냉하였다. 이때 접합용 용재는 KCl+BrCl2계를 사용하였다.

접합강도는 4점굽힘시험으로 JIS규정에 따라 만능시험기에 압축 load cell을 장착하여 측정하였으며, 시험 장치의 개략도는 Fig.2에 나타내었다. 접합강도는 시료파단시의 하중 P와 그림에서 표시한

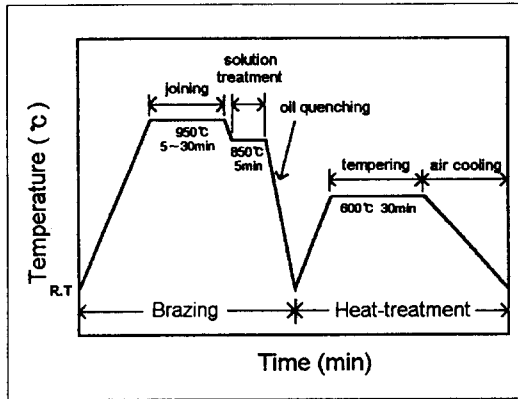


Fig 1. Schematic diagram of heating cycle.

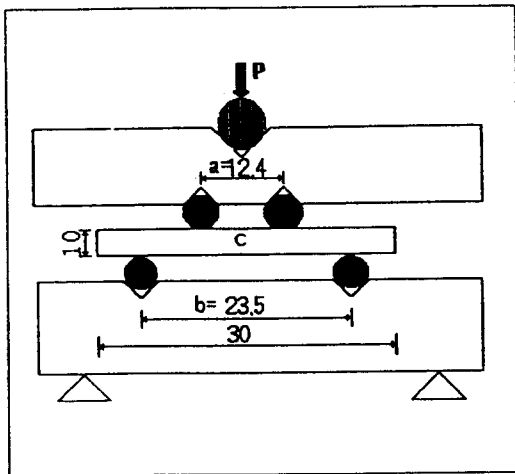


Fig.2 Device for 4-point bending test.

각 부분 치수로부터 다음 식에 의해 계산된다.

$$\sigma = \frac{3P(b-a)}{2w \cdot h^2}$$

w는 시험편의 폭이며, h는 시험편의 높이를 나타내고 b는 시험편 아랫면 지지봉사이의 거리이며, a는 시험편 윗면에서 하중을 가하는 봉상사이의 거리이다. 이때 최대하중 2톤, 크로스 헤드 속도 0.4mm/min으로 시험하였다. 접합부의 경도 측정은 200g의 하중으로 micro-Vickers경도기를 사용하였으며, 접합부 및 파면 조직관찰은 주사전자현미경으로, 성분분석은 EDS를 사용하였으며, 접합부의 생성물은 XRD를 사용하여 조사하였다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1 접합강도 및 경도 변화

Fig.3은 접합온도 950℃에서 각 시간에 따른 접합강도를 나타내고 있다. 접합시간 5분에서는

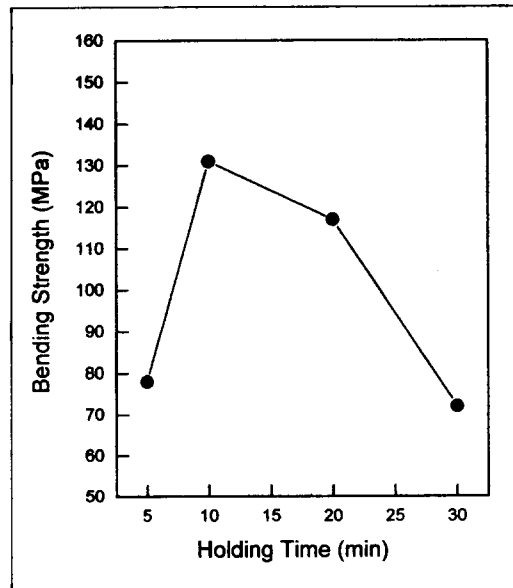


Fig 3. Bending strength of WC/SUJ2 depends on brazing time at 950℃

78MPa로 낮은 강도를 나타내고 있는데 반해, 접합시간 10분에서는 131MPa로 가장 높은 강도값을 나타내고 있다. 접합시간이 20분에서 30분으로 길어지면 접합강도가 117MPa에서 72.1MPa로 점차 낮아지고 있다.

Fig. 4는 접합온도 950℃에서 각 시간에 따른 접합부의 경도를 나타낸 것이다. 접합부의 경도는 접합시간 5분에서 Hv155로 가장 높았고 20분에서 Hv146 정도로 접합시간의 변화에 따른 경도변화는 크지 않음을 알 수 있다.

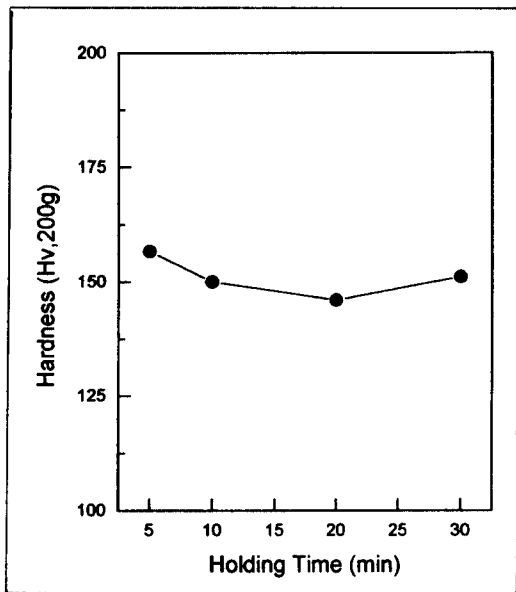


Fig 4. Hardness distribution of bonding zone of WC/SUJ2 depends on brazing time at 950℃

3.2 파면조직 및 생성물 관찰

Photo. 1은 굽힘시험한 후 SUJ2강의 파면을 SEM으로 관찰한 결과이다. 파면은 접합강도가 낮은 접합시간 5분과 30분에서는 조대한 조직을 가진 반면, 접합강도가 높은 접합시간 10분에서는 미세한 dimple형상을 나타내고 있다. 여기서, 파면의 생성상을 알기 위해 Fig. 5에 XRD로 조사한 결과를 나타내었다. 접합시간에 관계없이 같은 XRD pattern을 나타내고 있는데 Fig. 5는 대표적인

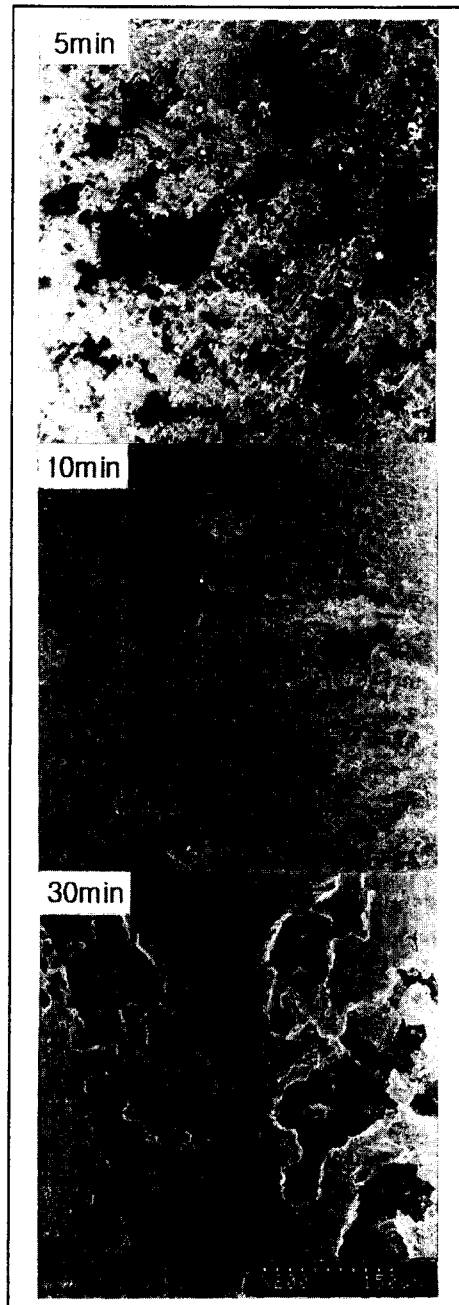


Photo 1. SEM microstructures of SUJ2 fracture surface for WC/SUJ2 depends on brazing time at 950℃

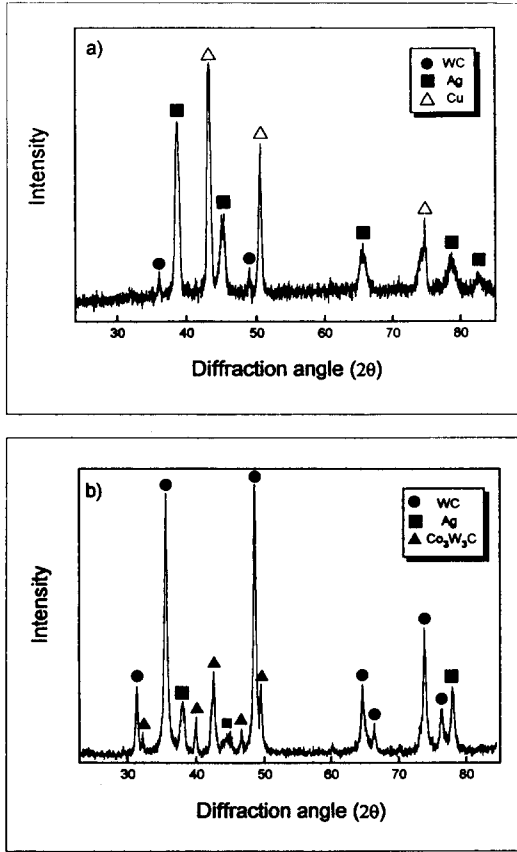


Fig 5. XRD patterns of fracture surface of WC/SUJ2 brazed at 950°C for 10min
 a) SUJ2 fracture surface
 b) WC fracture surface

로 접합시간 10분의 경우를 나타내고있다. SUJ2강의 표면에는 주로 Ag, Cu가 검출되었고, WC의 표면에는 WC와 Ag가 검출되었다. 이것으로 보아 파괴가 WC와 삼입금속의 계면에서 일어난다고 판단된다. 특히 Co_3W_3C 이라는 탄화물이 검출되었으나 이 탄화물이 접합시간에 관계없이 나타나는 것으로 보아 접합강도에는 큰 영향을 미치지 않는 것으로 사료된다.

3.3 접합부 미세조직과 생성상

접합부의 미세조직 및 EDS분석결과는 950°C에서 브레이징한 접합체를 접합시간에 따라 Photo. 2에

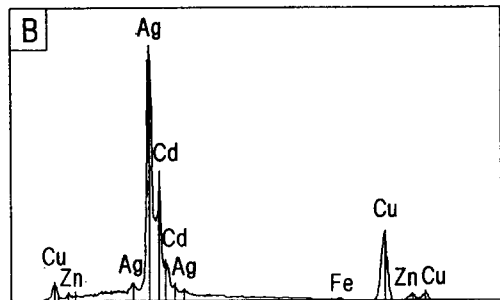
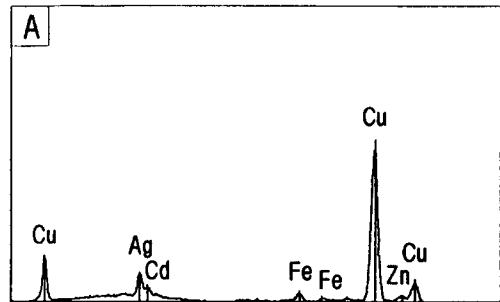
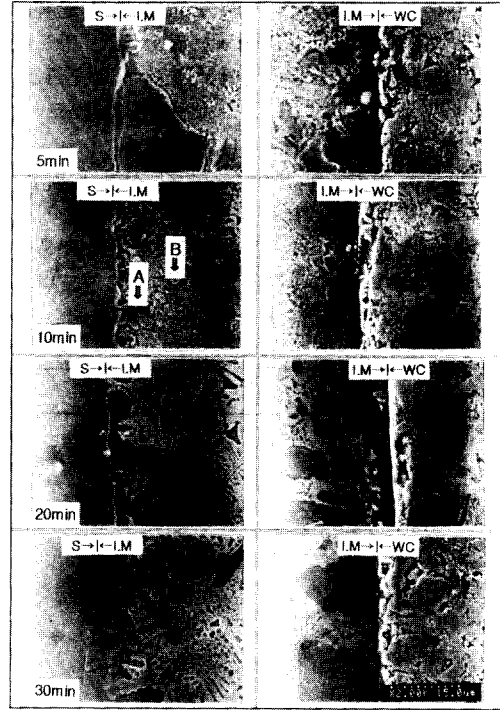


Photo 2. SEM microstructures of WC/SUJ2 brazed for 5min, 10min, 20min, 30min at 950°C and point analyses of A, B positions

나타내었으며, 접합시간에 관계없이 EDS분석의 결과는 동일한 양상이 나타났다. 즉, Ag-Cu풍성으로 이루어진 기지상과 Cu상으로 되어 있음을 알 수 있었다. 접합시간이 5분의 경우에는 접합부 내에 조대한 기지상과 Cu상이 관찰되었으나, 이러한 접합부의 조대화효과보다 접합시간이 길지 않아 삼입금속이 용융후 모재와 충분히 반응하지 못한 결과로 인해 낮은 접합강도가 나타난다고 판단된다.

한편 접합시간이 10분인 경우에는 접합부의 기지상 및 Cu상이 상당히 미세한 것을 볼 수 있고, 접합시간이 5분인 경우보다 더 미세하고 WC쪽의 계면 접합상태도 양호한 것을 볼 수 있다. 이와 같이 접합시간 5분에서의 조대한 접합부 조직과 접합시간 10분에서의 미세한 접합부조직이 굽힘시험 후의 파면에서 조대한 파면과 미세한 dimple형상의 파면으로 나타난다고 사료된다.

접합시간 20분과 30분에서는 접합부에서의 Cu상 및 기지상이 10분의 경우보다 조대화되어 있다.

또한 20분과 30분에서는 공통적으로 WC쪽의 계면에서 crack이 발견되었다. WC와 접합부의 기지와의 열팽창계수차에 의해 생긴 것으로 추정되는 이러한 crack과 접합부 Cu상의 조대화에 의해서 20분과 30분에서 접합강도가 낮아지게 된다고 추정된다.

3.4 열처리 후의 접합강도 및 접합부 경도변화

열처리는 가장 높은 접합강도를 얻은 접합온도 950℃, 접합시간 10분의 조건에서 제작한 접합체를 600℃에서 30분간 유지한 후 공냉하는 방법으로 tempering하였다. Fig. 6은 열처리 전후에 대한 접합강도를 나타내고 있다. 접합강도는 열처리를 한 경우가 열처리를 하지 않은 경우의 최대강도 130MPa보다 2배 이상이 높은 290MPa로 나타났다.

Fig. 7은 열처리 전후의 접합부의 경도를 나타내고 있다. 열처리 후의 경도값은 열처리를 하지 않은 경우의 Hv150정도보다 약 50%가 증가한 Hv 225정도가 얻어졌다.

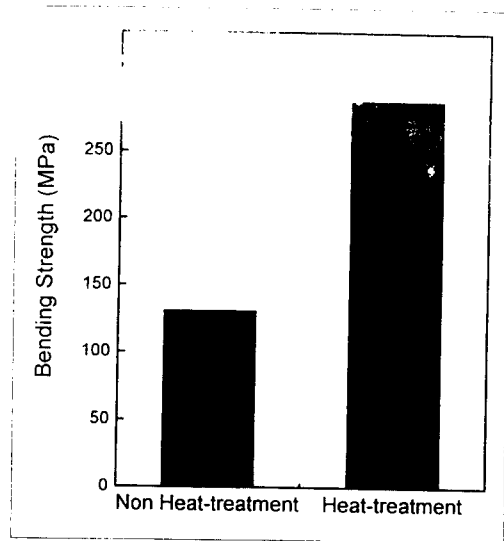


Fig 6. Bending strength of WC/SUJ2 brazed for 10 min at 950℃ and heat-treated for 30min at 600℃ subsequently.

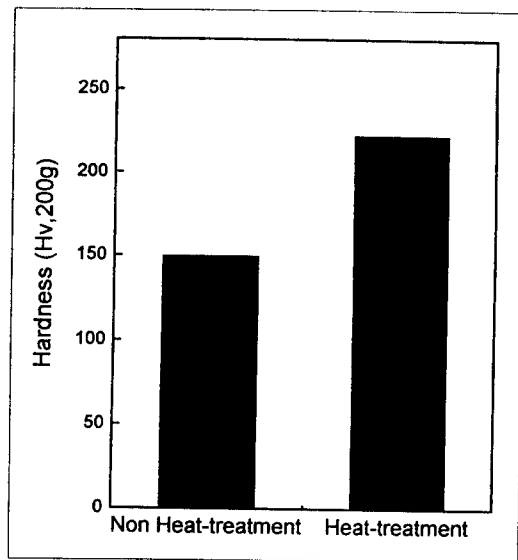


Fig 7. Hardness distribution of bonding zone of WC/SUJ2 brazed at 950℃ for 10 min and heat-treated at 600℃ for 30min subsequently.

3.5 열처리에 의한 파괴양상

열처리에 의한 파괴양상을 관찰하기 위해 열처리 전후의 굽힘시험한 시편을 Photo. 3에 나타내었다. 열처리를 하지 않은 경우는 접합시간에 관계없이 접합부에서 파괴가 일어나는데 이것은 Photo. 1의 파면조직과 Fig. 5의 생성물 관찰에서 나타난 것과 같이 WC와 삼입금속의 계면에서 파괴가 일어나는 것이라고 추정되어진다. 반면에 열처리한 경우는 계면에서 파괴가 일어나는 것이 아니라 WC쪽에서 파괴가 일어났는데, WC가 움푹 패인 분화구모양을 하고 있었다. 이와 같이 열처리를 한 경우에는 삼입금속과 WC와의 접합정도가 훨씬 향상되어 보다 높은 접합강도가 나타난 것이라고 판단된다.

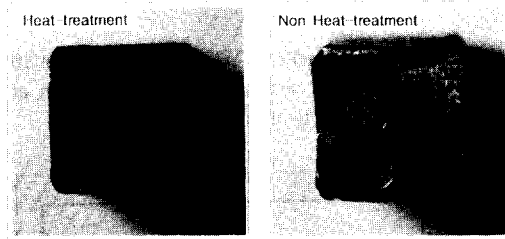


Photo 3. Optical macrostructures of fracture surface for brazed for 10min at 950°C and heat-treated for 30min at 600°C subsequently.

3.6 열처리 후의 접합부 미세조직과 생성상

Photo. 4는 열처리 후의 미세조직 및 EDS분석결과를 나타내고 있다. 열처리한 경우의 접합부는 열처리를 하지 않은 경우와 같은 미세화 현상은 없고 Cu상이 널리 분포되어 있는 것이 보여진다. 한편 EDS에 의한 상분석 결과, 열처리를 하지 않은 경우와 같이 Ag-Cu공정으로 이루어진 matrix에 Cu상이 생성되어 있으나, Cu상(B)과 기지(C)에는 W성분이 나타났다. 이것은 열처리할 때 WC에서 W성분이 접합부로 확산하여 나타난 결과라고 추정된다. 이러한 W의 확산에 의해 접합부의 Cu상과 기지가 강화되어 접합부의 경도가 상승하고, 이 Cu상이 접합부내에 전반적으로 망상형태로 존재하면서 bridge효과로 인해 접합강도가 향상되어

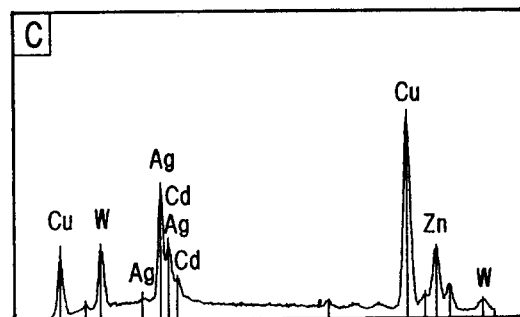
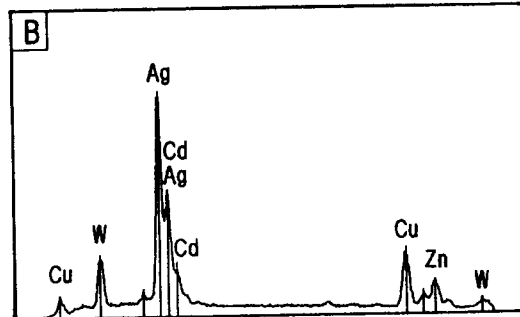
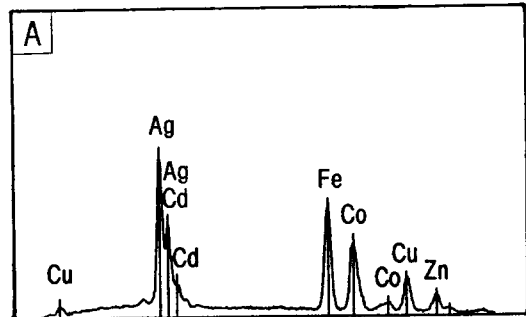
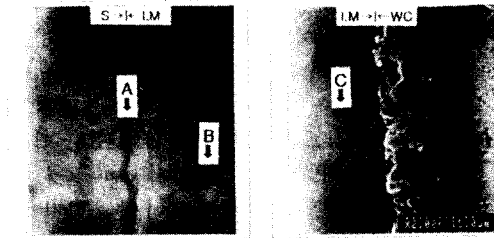


Photo 4. SEM microstructures of WC/SUJ2 heat-treated for 30min at 600°C and point analyses of A, B, C positions

지는 것으로 보여진다.

또한 SUJ2와 접합부 계면에는 Λ 와 같은 층이 생성된 것을 볼 수 있었다. 이 층은 WC-9%Co에서 분해된 것으로 보이는 Co가 다량 함유된 것을 알 수 있었다. 즉, Λ 층에 Co의 존재로 인해 Co의 우수한 유동성, 소성능에 의해 SUJ2와 삽입금속사이의 접합계면에서 열팽창계수에 의한 열응력의 완화가 일어난다고 추정된다. 또한 접합이 보다 강해져 열처리를 하지 않은 경우와 다르게 접합부계면이 아닌 WC에서 파괴가 일어난다고 판단된다. 따라서 열처리를 하지 않은 경우는 삽입금속의 젖음성과 접합부 미세화에 의해 접합강도가 크게 좌우되는 것에 비해 열처리를 한 경우는 모재중의 성분확산으로 인한 접합부 자체의 강화 및 망상형태를 이루는 Cu상의 접합부 bridge효과에 의해 접합강도가 결정된다고 추정된다.

결 론

Ag-Cu계 삽입금속을 이용하여 WC-9%Co와 SUJ2강의 열처리에 따른 접합특성을 조사하기 위해 4점 굽힘시험, 미세조직관찰, XRD 및 EDS분석 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) 접합강도는 접합시간 5분에서는 용융된 삽입금속이 모재와 충분한 반응을 하지 못하여 78MPa로 낮은 강도를 나타내지만 접합시간 10분에서는 131MPa로 가장 높은 강도가 나왔고, 그 후 접합시간 20분, 30분에서는 117MPa, 72.1MPa로 점차 낮아졌다. 접합부의 미세조직 관찰결과, 접합강도가 높은 접합시간 10분에서는 접합부가 미세한 기지로 되어 있는데 반해, 접합시간 20분, 30분에서는 Cu상과 기지가 조대하게 되어 있는 것으로 보아 기지의 미세화 효과에 의해 접합강도가 향상된다고 추정된다.

2) 가장 높은 강도가 얻어진 접합시간 10분에서 열처리를 한 경우, 열처리를 하지 않은 경우에 비해 접합강도가 288MPa로 2배이상 향상되었다. 이것은 열처리에 의해 모재의 W성분이 접합부내로 이동하여 접합부의 Cu상과 기지가 강화되고, 또한 Cu상이 망상형태로 존재하면서 bridge효과로 인해 접합부가 강화되어지는 것으로 판단된다.

3) 굽힘시험을 한 시편의 파괴양상을 보면, 열처리를 하지 않은 경우는 접합부에서 파괴된데 반해 열처리를 한 경우는 WC에서 파괴가 일어났다. 이것은 열처리에 의해 우수한 유동성과 소성능을 가진 모재의 Co성분이 SUJ2와 삽입금속의 계면에 농축되어, 열팽창계수 차이에 의한 열응력의 완화로 판단된다.

참 고 문 헌

1. 대한금속학회 : 분말야금기술, 1987, pp. 241
2. H. Mizuhara, E. Huebel : Joining Ceramic to Metal with Ductile Active Filler Metal, *Welding Journal*, Vol. 65, No. 10, 1941, pp. 43-51
3. Michael L. Santella : Brazing of Titanium-Vapor-Coated Silicon Nitride, *Advanced Ceramics Materials*, Vol. 3, No. 5, 1988, pp. 457-462
4. Y. Zhou, F. H. Bao, J. L. Ren and T. H. North : Interlayer selection and thermal stresses in brazed Si₃N₄-steel joints, *Material Science Tech.* Vol. 7, 1991, pp. 863-868
5. Mel M. Schwartz : *Ceramic Joining*, 1990, pp. 24
6. M. G. Nicholas, D. A. Mortimer : Ceramic/metal joining for structural application, *Materials Science and Technology*, Vol. 1, 1985, pp. 657-665
7. 추현식, 박종건, 권해웅 : 분말야금학, 1993, pp. 195
8. Greg Geiger : Advanced in Mechanical Testing of Advanced Ceramics, *Ceramic Bulletin*, Vol. 69, No. 11, 1990, pp. 1794-1800
9. Sylvia M. Johnson, David J. Rowcliffe : Mechanical Properties of Joined Silicon Nitride, *Journal of the American Ceramic Society*, Vol. 68, No. 9, 1985, pp. 468-478
10. Akira Ohmori, Yoshiaki Arata, Stan Piech and Wladyslaw Wlosinski : Al₂O₃ Diffusion Bonding Using TiH₂ Powder Interlayer, *Transaction of JWRI*, Vol. 18, No. 1, 1989, pp. 65-73