

기계적 합금화방법으로 만들어진 Ag계 삽입금속의 젖음성과 미세조직

김광수[†] · 노기식 · 황선효*

순천향 대학교, 신소재 · 화학공학부

*한밭대학교, 신소재 공학부

Wettability and Microstructures of Ag System Insert Metals Manufactured by Mechanical Alloying Method:

Gwangsoo Kim[†], Kisik Noh and Sunhyu Hwang*

Division of Materials and Chemical Engineering, Soonchunhyang University, Asan, 336-745, Chungnam

*Division of Materials Engineering, Hanbat National University, Yuseong-gu, Daejeon

(2001년 8월 16일 받음, 2001년 11월 26일 최종수정본 받음)

Abstract Powder type Ag system insert metals were manufactured by mechanical alloying method. Alloying method was the ball milling process using zirconia ball media, and all alloying variables were constant except the milling time. The milling times were selected 24, 48 and 72 hours. The insert metals made by milling method were observed using scanning electron microscope and x-ray analyses. And also, the evaluation of wettability and microstructures of the insert metals were conducted to investigate the characteristics of the brazed joint. The wettability of the insert metals made by milling of 48 hours, was the best condition. And the insert metals contained Cd shows good wettability, however, there was the oxides residue on the brazing test specimen. The microstructures of the manufactured and the commercial insert metals were almost same displaying the Cu-rich proeutectic and Ag-rich eutectic. Further, there were some porosities. The 48 hours alloyed insert metal was exhibited the most sound brazed joint without containing porosity due to the superior wettability and good alloying condition.

Key words: Insert metals, Mechanical alloying Method, Ag system insert metal, Wettability, Microstructures

1. 서 론

브레이징 접합은 모재, 삽입금속, 플럭스 등 크게 3가지로 구성된다. 이중 삽입금속의 역할은 접합현상에 있어서 가장 중요한 위치를 차지한다. 삽입금속은 젖음 특성이 우수하여야 하고, 적당한 유동성과 접합 온도에서의 증발현상이 적고, 기계적 특성이 우수해야 하는 등의 조건이 요구된다. 이러한 요구조건을 만족시키면서 모재를 손쉽게 접합시키기 위해 삽입금속은 봉, 박판, 분말, 페이스트(paste), 테이프 등의 다양한 형태로 생산되어지고 있다. 그러나 이러한 다양한 삽입금속의 형태에도 불구하고 모재 및 접합매체의 형상, 열원전달 등에 따라 사용되어지는 삽입금속의 형태는 많은 제한을 받게 된다.^{1~4)} 예를 들어 접합부를 구성하는 모재나 피접합물의 형상이 불규칙하고, 다수의 피접합물을 동시에 모재에 접합해야 하는 경우에는 페이스트나 분말형태의 삽입금속을 사용하는 것이 효과적이다. 그러나 현재 국내에는 페이스트형의 삽입금속은 모두 수입에 의존하고 있다. 또한 분말형태의 삽입재는 국내에서 일부 제조하지만 비교적 고가이며, 그 종류에도 많은 제한이 있는 것으로 나타났다.

본 연구에서는 평면을 갖는 대면적 모재위에 약 2.0~

2.8mm 크기의 작고 불규칙한 초경입자를 균일한 거리를 유지하면서 동시에 다량으로 모재에 접합시키기 위하여 분말 형태의 삽입금속이 요구되었고, 이러한 요구를 만족시키기 위하여 기계적합금화 방법으로 분말 형태의 삽입금속을 제조하고자 하였다. 일반적으로 분말 형태의 삽입금속은 합금성분으로 만들어진 혼합용탕으로부터 급속냉각방법에 의존하여 제조되기 때문에 초기 설치가 많이 필요하고 분말 입자의 크기를 조절하기 어려운 점이 있다. 반면에 기계적 합금화 방법은 원료분말의 용융과정없이 혼합분말이 파괴와 압접과정을 반복하면서 강제용융으로 인한 비평형상의 합금화가 이루어지기 때문에 합금계 선택 및 조성의 제한을 극복할 수 있는 것으로 알려져 있다.^{5~7)}

본 연구에서 사용한 삽입금속 성분은 은계(BAg type)계를 기본으로 하여 두 종류를 제조하였다. 이렇게 제조된 삽입금속 분말은 현재 상용으로 사용되고 있는 유사 성분의 두 종류의 삽입금속 분말과 특성을 비교 평가하였다. 비교 평가 방법은 삽입금속 분말의 젖음성을 측정하였고, 미세조직 등을 조사하였다. 또한 이렇게 해서 선정된 우수한 조건의 삽입금속을 이용하여 탄소강표면에 작고 불규칙한 WC계 초경입자를 균일하게 분포되도록 브레이징하여 그 접합부를 관찰하였다.

[†]E-mail: kgwangs@sch.ac.kr

2. 실험 방법

Table 1은 기계적 합금화방법으로 브레이징 삽입금속을 제조하기 위하여 사용된 원료 분말의 종류와 그 화학성분을 나타내고 있다. 이 성분은 은납계(BAg) 삽입금속 성분을 기본으로 하였고, 원료 금속 분말은 99.9% 이상의 순도를 갖는 수입품을 구매하여 사용하였다. 원료 분말의 입도는 대략 300~340 mesh(37~44 μ m) 범위였다. 또한 브레이징 삽입금속과 함께 사용되는 플럭스도 은납계용 플럭스 성분을 바탕으로 크립타입으로 자체 제조하여 사용하였다. Table 2는 불밀을 사용하여 이루어진 기계적 합금화 공정 조건을 나타내고 있으며, 합금화시의 매개체로는 직경 7mm인 지르코니아 불을 사용하였다. 합금화 조건은 다른 조건이 모두 동일한 상태에서 단지 불밀 시간을 24, 48, 72시간으로 변화하였고 적정 합금화 시간을 선정하기 위하여 합금화된 삽입금속의 산화물 분석, 형상, 그리고 젖음성을 조사하였다. 또한 우수한 조건으로 선택된 삽입금속을 이용하여 만들어진 접합부의 미세조직도 관찰하였다.

Fig. 1(a)와 (b)는 젖음성 측정을 위하여 준비한 시험편의 모식도와 대기중에서 젖음성 실험과 실제 브레이징 접합 시험에 적용된 열사이클을 나타냈다. 젖음성 시험은 그림에서 나타낸 바와 같이 정사각형(28 \times 28 \times 14t mm) 탄소강 모재에 지름 15mm, 깊이 8mm인 홈을 가공하여 준비하였다. 그리고 젖음성과 브레이징 접합 실험시 적정 온도와 시간의 관찰을 위하여 측면에 열전대를 삽입할 수 있는 지름 3mm 홈을 가공하였다. 이렇게 준비된 모재는 샌딩처리를 한 후 에탄올과 초음파 세척기를 이용하여 전처리를 하였고, 중심부 홈에 1g의 삽입금속과 0.7g의 플럭스를 서로

혼합하여 페이스트형태로 가공된 홈에 장입하였다. 삽입금속과 플럭스가 주입된 시험편을 열전대를 삽입한후 1000 $^{\circ}$ C로 유지되어 있는 전기로에 시험편을 투입하고 상온에서부터 자연 승온 시키는 동안 육안 관찰에 의하여 삽입금속의 용해와 젖음현상이 발견되는 시점에 시험편을 열원으로부터 제거하였다. 브레이징과 젖음성시험의 열사이클은 약 750 $^{\circ}$ C에서 그래프 곡선이 변화되었는데 이 구간에서 삽입금속이 용용되기 시작하는 구간이라 할 수 있으며, 브레이징과 젖음성 시험의 최대 도달온도는 약 850 $^{\circ}$ C였다. 이후 시험편을 열원에서 제거하고 자연 서냉하였다. 브레이징 및 젖음성 시험 시간은 2분에서 4분사이로 약 2분간 이루어졌으며, 이와 같은 열사이클은 모든 젖음성 시험과 브레이징 조건에서 동일하게 시행하였다.

3. 결과 및 고찰

Fig. 2는 30Ag-38Cu-32Zn로 구성된 BS-1 조성의 혼합분말을 대상으로 기계적 합금화 시간 변화를 주어 얻어진 삽입금속분말을 주사전자현미경으로 관찰한 결과를 보여준다. 24시간동안 합금화한 분말의 경우는 48, 72시간에 비

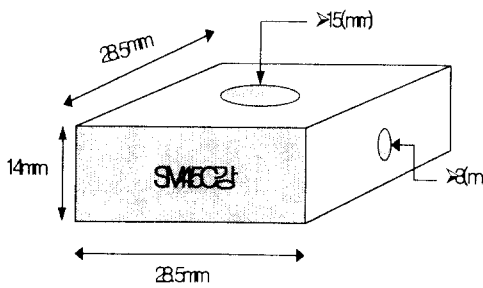
Table 2. Mechanical alloying conditions

Milling receptacle	glass bottle(ϕ 60mm)
Milling media	zirconia ball(ϕ 7mm)
Revolution speed	100rpm
Milling time	24, 48, 72h
Powder/Ball weight	1 : 2

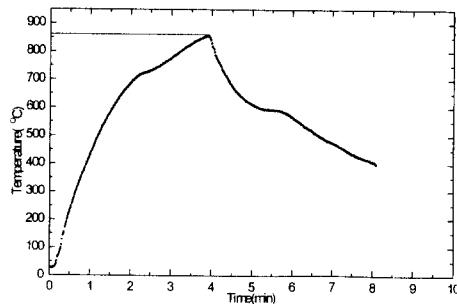
Table 1. Chemical compositions of Filler metals powder

	AWS-type	Ag	Cu	Zn	Cd	Ni	Sn
BS-1	BAg-20	30.0	38.0	32.0			
BS-2	BAg-2a	30.0	27.0	23.0	20.0		
BK-1	BAg-28	40.0	30.0	28.0	16.0		2.0
BK-2	BAg-3	50.0	15.5	16.5		2.0	

BS-1, BS-2 : 기계적 합금된 삽입금속 BK-1, BK-2 : 상용 삽입금속



(a)



(b)

Fig. 1. Schematic of wettability test specimen and brazing thermal cycles

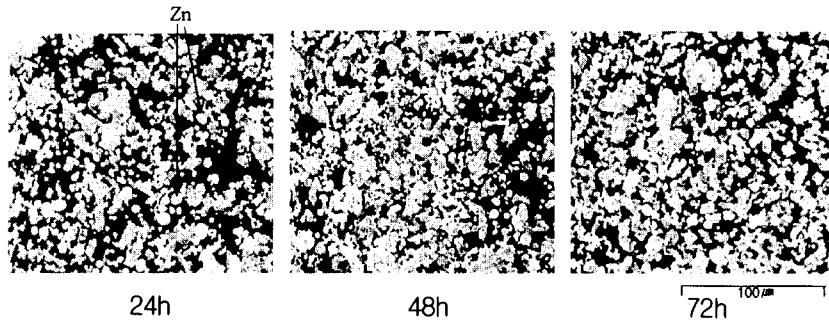


Fig. 2. Powder shapes of the insert metals after mechanical alloying

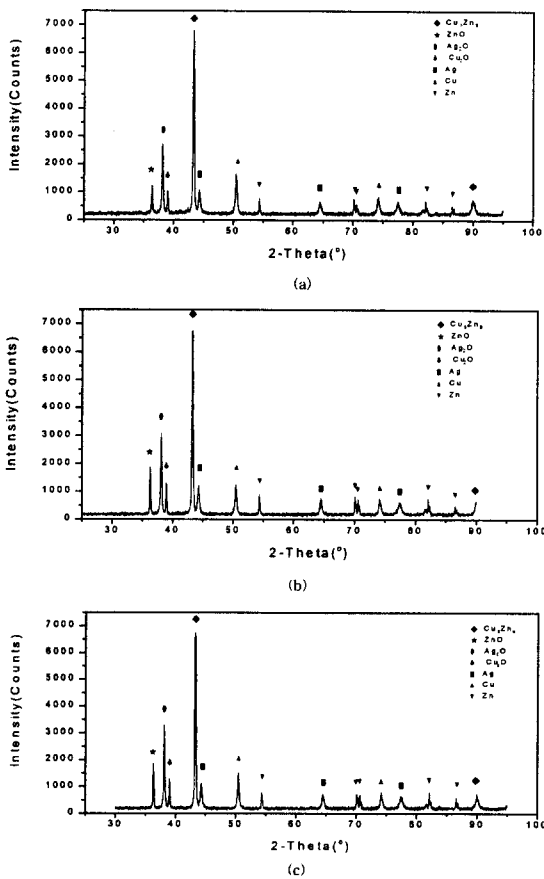


Fig. 3. X-Ray diffraction patterns of the BS-1 Insert metals (a) 24h (b) 48h (c) 72h

하여 전반적으로 구형의 Zn분말이 아직 부분적으로 잔류하고 있음을 보여준다. 이것은 24시간의 경우 밀링 효율이 떨어져 분말의 합금화가 잘 되지 않은 것으로 사료된다. 48, 72시간 경우에도 일부 구형의 Zn 분말이 관찰되지만 대부분의 Zn 분말은 본래 구형에서 편상으로 변화되었음을 관찰할 수 있다. 이는 48, 72시간의 경우에는 기계적 합금화에 의한 합금의 응집현상이 발생한 것으로 생각된다. 또한 48, 72시간의 경우에 기계적 합금화에서 발생하는 분말간의 압접현상은 부분적으로 확인되었으나 파괴현상은 특별히 관찰되지 않았다. 일반적으로 고에너지 밀링에 의해 이루어지는 기계적 합금화 공정은 볼 사이에서 가해지는 높은

압축응력에 의해 일어나는 분말입자들의 압접단계와 압접된 분말들의 과도한 가공으로 인한 파괴단계로 크게 구분되며, 이 두 단계의 연속적인 반복과정을 거치면서 최종적으로 균일한 구조를 이루게 되는 것으로 알려져 있다. 이에 반해 본 연구 결과에서 그와 같이 분말간의 압접현상과 파괴현상이 현저하게 나타나지 않은 것은 밀링에 사용된 매체의 영향으로 판단된다. 높은 밀링 효율은 볼의 큰 충돌 에너지와 충돌 빈도수에 의해 기대할 수 있는데, 본 실험에서 사용된 지름 7mm의 지르코니아볼은 충돌 빈도수에서는 적절하였다고 판단되나, 충돌에너지가 작아 분말의 압접 효과와 파괴현상이 적었던 것으로 사료된다.

이와 같이 강구 (steel ball) 대신에 지르코니아 볼을 사용한 것은 예비 실험에서 강구를 사용한 경우 밀링과정에서 분말과 강구간의 반응성이 발견되었기 때문이다. 한편 밀링 시간이 증가됨에 따라 분말 색깔이 퇴색되어가는 것이 관찰되었고, 특히 48시간보다 72시간 경우에는 검붉게 변화되었다. 이것은 밀링 시간 증가로 인하여 분말이 점차 미세화되고, 그 분말의 비표면적이 증가하므로써 분말의 산화가 심화된 것으로 생각되어진다. 이러한 분말 산화는 브레이징 접합시에 브레이징 온도 상승을 초래하고 또한 잔류물을 다량 만들어 접합특성에 좋지 않은 영향을 미친다고 알려져 있다.^{4, 12)}

Fig. 3은 각각의 기계적 합금화된 분말을 X-ray 분석한 결과를 보여준다. 분석결과에 의하면 합금의 원소 성분이 되는 Cu, Zn, Ag 피크가 고르게 나타났고, 합금으로는 Cu와 Zn간에 이루어진 Cu5Zn8이 주를 이루는 것으로 나타났다. 밀링 시간 변화에 따라서 합금의 종류나 그 양은 큰 차이를 보이지 않았다. 그러나 합금성분에서 만들어진 산화물의 양에는 약간의 차이가 있는 것으로 나타났다. 산화물은 합금 성분 모두에서 나타났고, Ag₂O, Cu₂O, ZnO인 것으로 확인되었다. 밀링 시간 변화에 따라서 Cu₅Zn₈의 강도에는 차이가 없지만, 산화물중 Ag₂O와 ZnO는 밀링시간 증가에 따라 적은 양이기는 하지만 강도가 증가하는 것으로 나타났다. 이러한 강도차이는 시험상의 오차로도 볼 수 있으나 동일한 조건의 반복 시험에서도 같은 결과를 얻는 것으로 미루어 볼 때, 밀링시간 증가는 산화물 증가를 유발할 수 있을 것으로 나타났다. 또한 산화물중 Ag₂O의 강도 변화는 ZnO의 강도 변화에 비하여 크게 나타났는데, 일반적

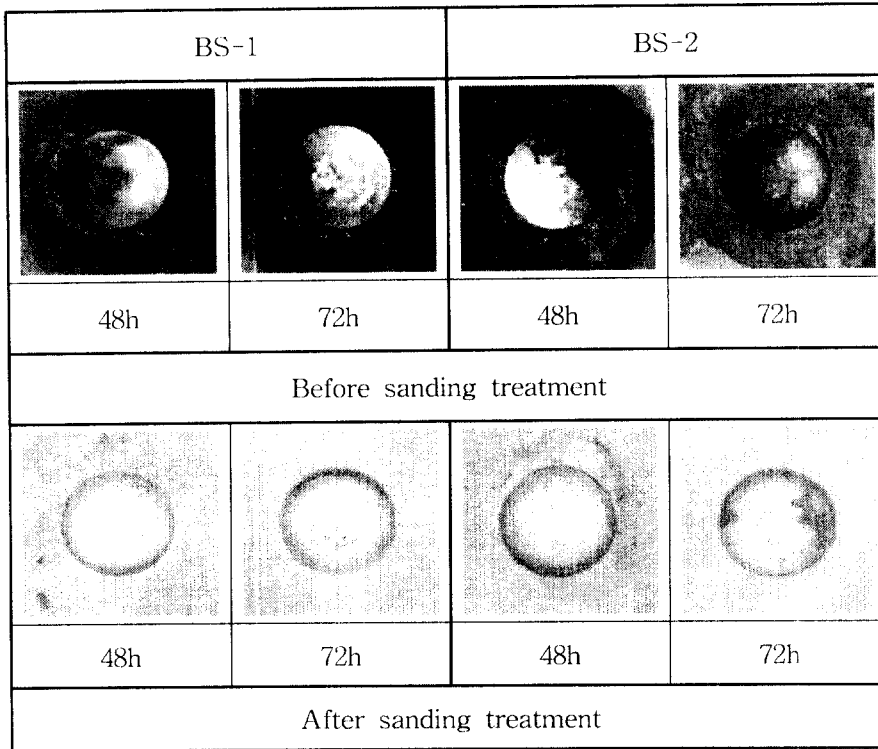


Fig. 4. Photographs of mechanical alloyed the insert metals for wettability test

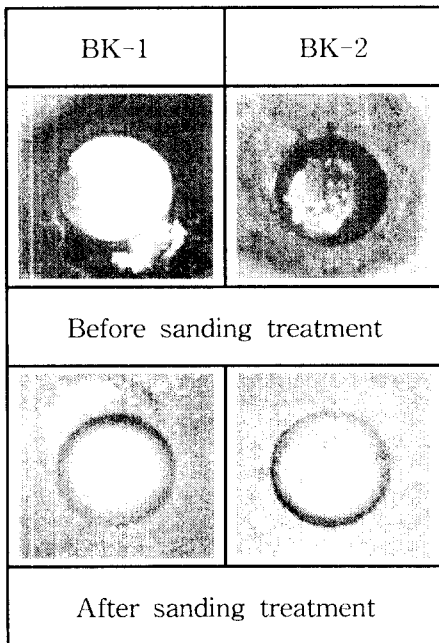
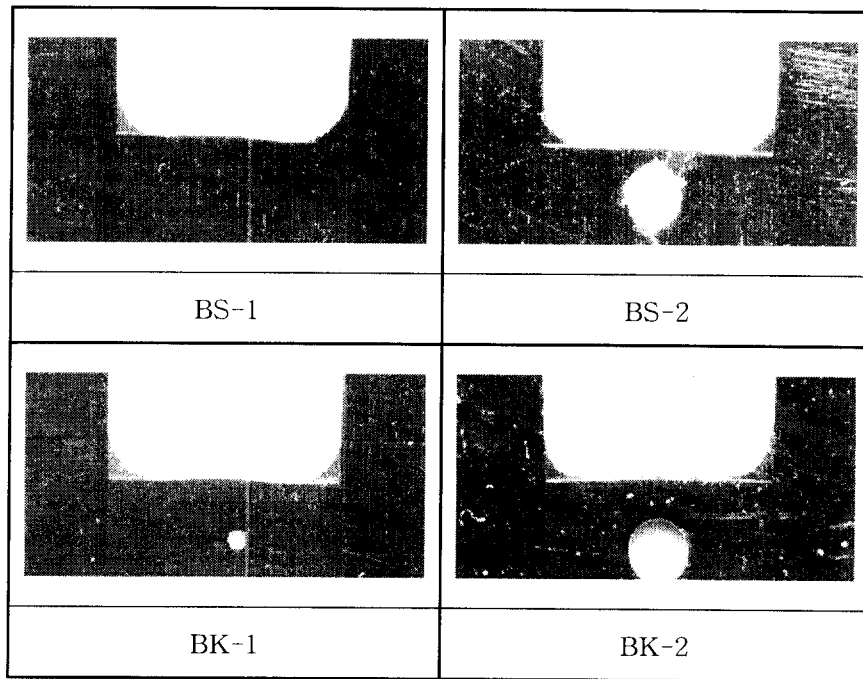


Fig. 5. Photographs of the commercial insert metals for wettability test

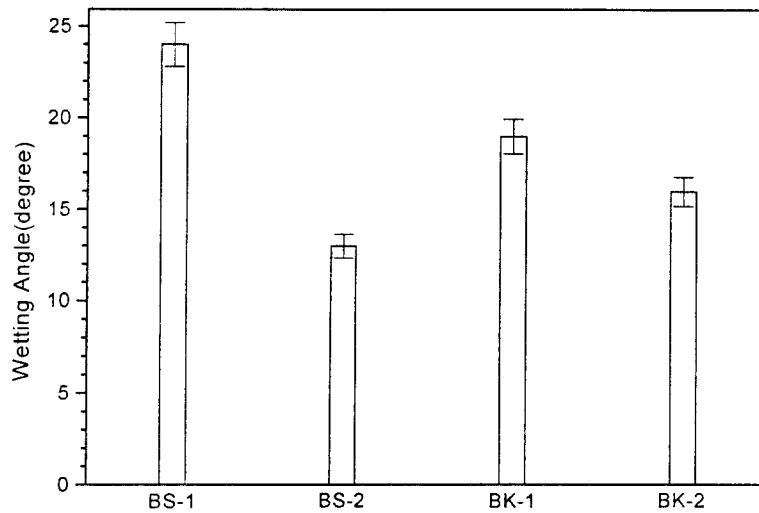
으로 Ag가 Ag계 삽입금속에서 젖음성을 증가시키고, 용해온도를 낮추어준다는 사실^{13,14)}에 비추어 볼 때 삽입금속의 기계적 합금화시 밀링 시간 증가는 본 연구에서 삽입금속내의 산화물 증가를 야기시켜 삽입금속의 특성을 저하시킬 것으로 판단된다. 따라서 24, 48시간의 밀링시에 비하여 72시간 밀링시 합금의 색이 크게 변화된 것은 산화물 증

가에 기인한 것으로 생각된다. 이와 같이 기계적 합금화된 분말의 형상과 색깔, 그리고 X-ray 결과를 토대로 할 때 산화물량이 적으며 동시에 원소 분말간의 응집현상이 양호하고 부분적인 압접현상이 확인된 48시간 밀링 합금화된 분말의 특성이 가장 양호할 것으로 사료된다.

Fig. 4는 분위기 없이 Fig. 1 (b)에 나타낸 브레이징 열사이클을 이용하여 48, 72시간 합금화된 BS-1, BS-2에 대하여 젖음성 시험을 실시한 결과를 보여준다. 상단에는 젖음성 시험을 실시한 직후의 모습을, 그리고 하단부는 시험편을 150 μ m의 모래를 사용하여 표면을 샌딩처리한 후 시험편의 표면 상태를 보여준다. 상단부 시험편의 흰색 부분은 시험에 사용된 플럭스가 유리질로 삽입금속 표면위에 응고된 것이며, 또한 모래 표면에 일부의 삽입금속이 반응하여 생긴 산화물층을 보여주고 있다. 하단부는 그러한 잔류 플럭스와 산화물을 제거한 상태를 보여주는데 48시간 합금된 BS-1, BS-2의 경우 삽입금속이 표면에 균일하게 용융, 응고되어 퍼져있는 것이 관찰된다. 반면에 72시간의 경우는 부분적으로 완전 용융이 이루어지지 않은 삽입금속이 시험편 중앙과 주변에 잔류되어 있음을 보여준다. 참고로 24시간 밀링한 삽입금속에 대한 결과를 여기에 나타내지는 않았으나 48, 72시간의 결과에 비하여 표면 잔류물이 과도하게 많이 나타났다. 이러한 현상들은 위에서 언급한 바와 같이 합금화시 발생된 분말들의 불충분한 압접과 파괴 그리고 X-ray 결과에서 나타난 산화물 형성에 기인한 것으로 판단된다. 즉, 그러한 산화물이나 불완전하게 합금된 삽입금속은 브레이징시 용융온도를 상승시켜 동일한 브레이징 조건에서 일부 삽입금속이 완전 용해되지 않은 결과라 할 수 있



(a)



(b)

Fig. 6. (a) Cross section views of the wetting specimens (b) Wetting angles of the insert metals

다. 특히 BS-2 성분의 72시간 합금화된 경우에는 다른 시험편들보다 잔류물이 많은 것이 관찰되는데, 이는 BS-1에는 없는 휘발성이 강한 Cd를 포함하였고 X-ray 결과 CdO가 검출된 것에 비추어 AgO와 더불어 발생한 산화물 증가로 인하여 나타난 현상으로 사료된다.

Fig. 5는 기계적 합금화된 삽입금속에 비하여 상용 삽입금속의 젖음성은 어떤지 비교를 위하여 상용으로 사용되고 있는 BK-1, BK-2를 동일한 방법으로 젖음성 시험한 결과를 보여준다. BK-1은 잔류물이 없는 완전 용해가 이루

어졌지만 BK-2는 역시 표면에 잔류물이 많이 존재하는 것을 확인할 수 있다. BK-2는 합금 성분중 Cd와 소량의 Ni가 함유되어 있는데, BS-2에서와 같이 CdO의 발생과 또한 용점이 높은 Ni를 포함한 삽입금속을 해당 삽입금속이 사용되는 브레이징 온도보다 낮은 브레이징 온도에서 동일하게 시험을 시행하였기 때문으로 사료된다. 이와 같은 육안에 의한 젖음성 시험이 완료된 시험편들은 실제 젖음성을 정량화하기 위하여 젖음각을 측정하였다. 젖음각의 측정은 각 조건에 대하여 3개의 시험편을 반복 실험한 결과로부

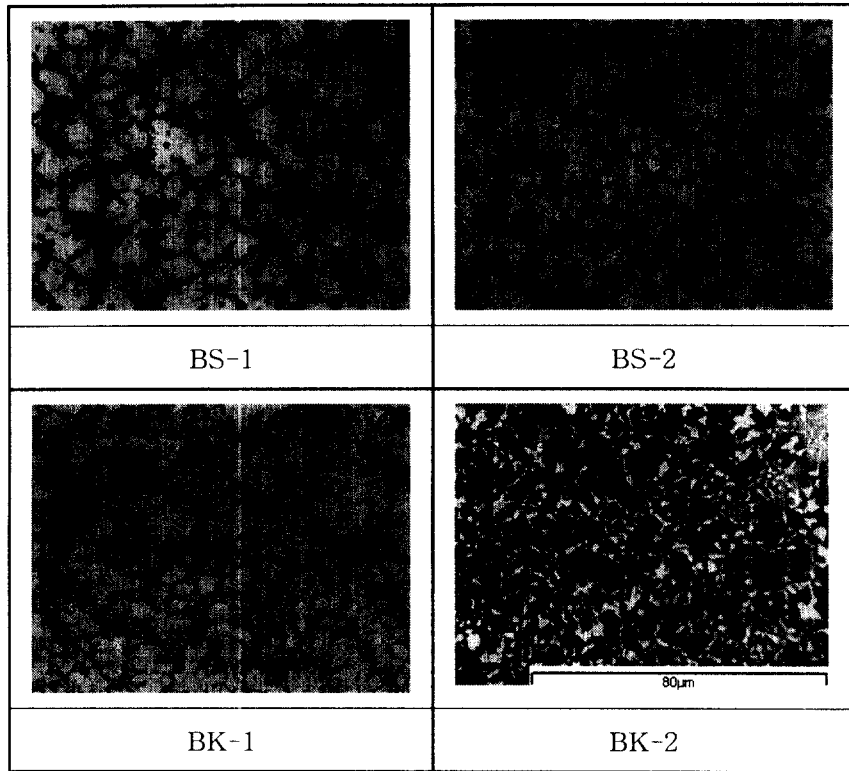


Fig. 7. Microstructures of the insert metals on wettability test specimens

Table 3. Result of EDS analysis for the filler metals

		Compositions					
		Cu	Zn	Ag	Cd	Ni	Sn
BS-1	초정	59.1	28.8	12.1			
	공정	25.5	26.0	48.5			
BS-2	초정	84.7	10.0	4.2	1.1		
	공정	5.5	1.6	62.4	30.5		
BK-1	초정	60.1	29.3	10.6			8.7
	공정	6.5	18.8	66.0			
BK-2	초정	61.9	17.7	4.5		15.7	
	공정	5.1	2.5	73.8	18.6		

터 얻어졌는데, 각각의 시편들을 반으로 절단하고 그 절단된 단면을 사진으로 촬영한 후 사진으로부터 젖음각을 측정 한 후 평균값을 취했다.

Fig. 6은 48시간 합금화된 삽입금속과 상용 삽입금속에서 젖음각 측정을 위해 절단된 시편 단면과 측정된 젖음각의 평균값을 보여준다. BS-2와 BK-2의 경우가 홀 벽면과 이루는 각이 각각 13°와 16°로, BS-1의 24°, BK-1의 19°에 비하여 작게 나타났다. BS-2와 BK-2는 삽입금속내에 소량의 Cd를 포함하고 있는데, 삽입금속내의 Cd 함유는 삽입금속의 유동성을 향상시켜 젖음성과 퍼짐성을 향상시킨다는 것을 고려할 때^{4,14)} 위의 결과와는 잘 일치하는 것으로 나타났다. 이러한 Cd의 효과는 본 연구에서 산

화물 발생과 젖음성향상의 양면성을 보여주는데, 삽입금속의 접합 특성에서는 어떤 결과를 나타낼지 현재로서는 확인하지 못하였으나 반복 젖음성 실험을 한 결과 긍정적인 요인 보다는 부정적인 요인이 더 많은 것으로 간주되었다. 또한 최근에 Cd의 유해성이 거론되는 것에 비추어 볼 때 Cd 첨가는 점차 지양되어야 할 것으로 사료된다. 젖음각 측정 결과 기계적 합금화된 삽입금속이 상용에 비하여는 약간 높은 값을 나타냈으나 일반적으로 젖음각이 25° 이하인 경우 삽입금속의 젖음성이 양호하다는 것으로 판단되고⁴⁾ 또한 제조된 삽입금속이 상용 삽입금속에 비하여 용해온도를 낮추고 유동성을 향상시키는 Ag양이 작은 것을 고려할 때^{15,16)} 기계적 합금화된 삽입금속의 젖음현상은 상용 삽입금속에 비

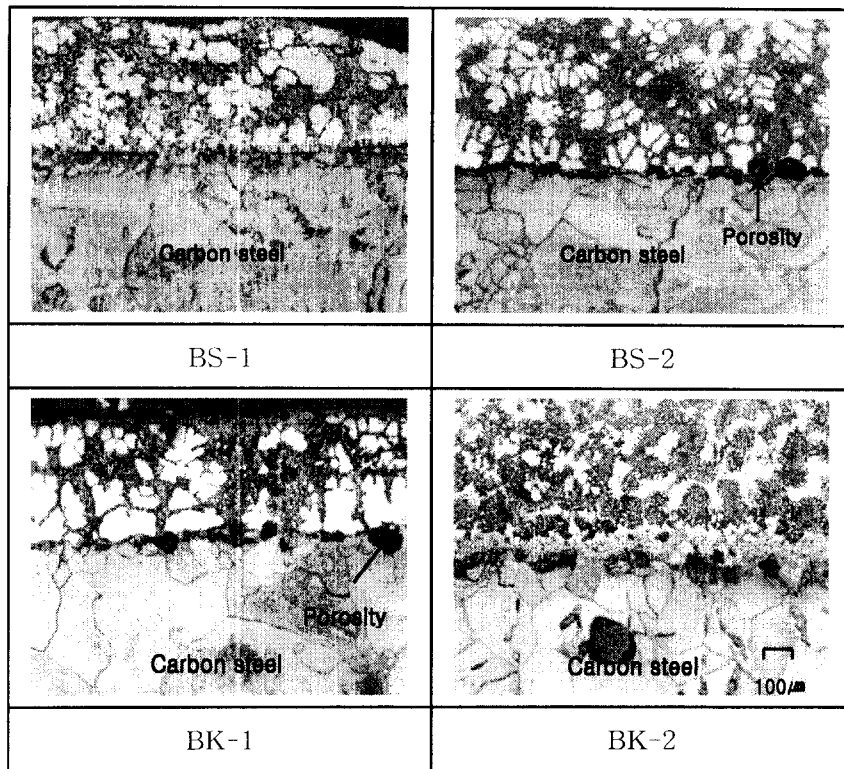


Fig. 8. Microstructures of the interface between steel and insert metal

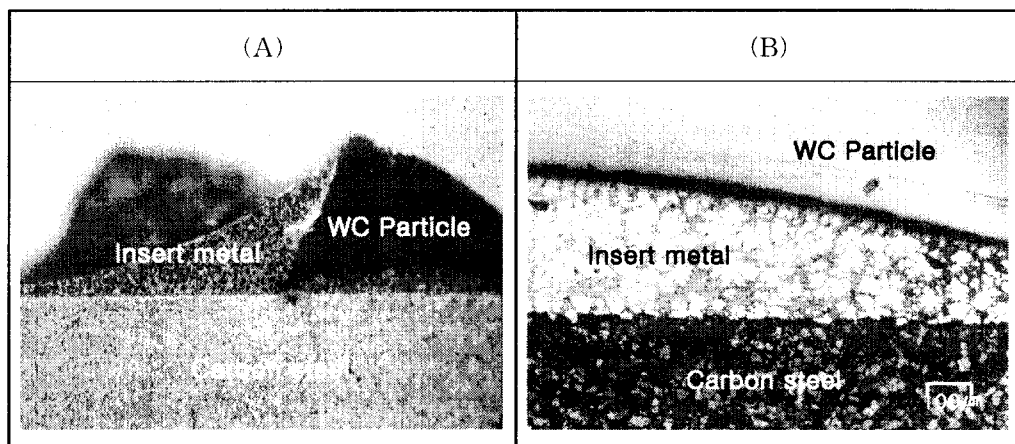


Fig. 9. (A) Macrostructure of brazed specimen of WC particle/steel joint using BS-1 insert metal. (B) Microstructure of the brazed joint.

하여 큰 차이가 없는 것으로 나타났다.

Fig. 7은 각 삽입금속에 있어서 젖음성 시험된 시험편의 삽입금속층 부위를 광학 현미경으로 관찰한 미세조직을 나타내고, Table 3은 각상에 대한 EDAX 결과를 나타냈다. EDAX 분석 결과 밝은 부분은 Cu가 많이 함유되어 있는 Cu-rich 초정영역, 짙은 부분은 Ag-rich인 공정조직을 나타냈다. BS-1과 BK-1의 경우 다른 삽입금속보다 비교적 초정역이 조대하고, 넓게 분포하고 있다. 모든 삽입금속에서 기공이 관찰되었는데 BS-2와 BK-2는 BS-1과 BK-1에 비하여 기공이 많이 관찰되었다. 또한 BK-2는 기공이 가장 많고, 크며 불규칙한 것으로 확인되었다. 관찰된 기공

은 대부분 Cu-rich인 초정영역의 내부나 초정과 공정역의 경계부에서 주로 발견되었다. 기공의 형성은 크게 전처리부족, 삽입금속 가열시의 산화물 발생, 플럭스의 영향으로 나눌 수 있다.^{4,16)} 본 연구에서 기공형성은 삽입금속내에 존재하는 산화물과 브레이징시 발생된 산화물에 의하여 삽입금속의 유동성이 부족하고, 응고시에 먼저 형성된 Cu-rich 초정상이 아직 액상으로 존재하는 공정상의 흐름을 방해하여 나타난 현상으로 생각된다.

Fig. 8은 모재와 삽입금속간의 접합부를 관찰한 미세조직이다. 모든 삽입금속에서 Cu-rich인 초정영역이 모재와 접합경계 부위를 따라 나란히 형성된 것을 보여준다. BS-

1을 제외하고는 다른 삽입금속에서는 탄소강 모재와 삽입금속 경계부위에서 기공이 다수 발견되었다. 한편 모든 접합부에 대하여 EDAX 검사를 하였으나 어떠한 반응층도 발견되지 않았다. 접합부는 모재와 삽입금속의 경계부위를 따라 부착된 형태의 접합 상태를 나타내고 있었으며 이는 다른 연구 결과들과 일치하는 것으로 나타났다.¹⁷⁾ 일반적으로 Fe/Ag와 Fe/Cu간에는 서로 확산하지 않아 합금을 만들지 않고, 단지 젖음 현상에 의하여 계면 에너지가 개방되어 서로 밀착하고 기하학적으로 접합되는 상태를 나타내는 것으로 판단된다. 탄소강 모재와 삽입금속간의 미세조직 관찰에 이어 실제 본 연구의 목표가 되는 탄소강 모재와 불규칙한 텅스텐계 초경입자간의 브레이징 접합을 시험적으로 실시하였다. 삽입금속은 검토 결과 가장 우수한 젖음성과 미세조직의 안정성을 나타내는 BS-1과 BK-1의 삽입금속을 사용하였다.

Fig. 9(a)와 (b)는 가장 우수한 특성을 나타내는 BS-1을 사용하여 브레이징된 접합부를 저배율과 고배율에서 관찰된 결과를 보여준다. 저배율 관찰에서 보는 바와 같이 삽입금속과 탄소강 모재간에 기공이 관찰됨이 없이 초경입자와 모재간에는 삽입금속의 충분한 젖음 현상에 의하여 양호한 접합상태를 이루고 있음을 관찰할 수 있었다. 고배율의 사진에서도 상단의 회색을 띠는 초경입자와 하단의 모재가 중간층의 삽입금속에 의하여 건전하게 접합된 모습을 보여주었다.

4. 결 론

분말형 삽입금속 제조를 목적으로 기계적 합금화 방법에 의하여 삽입금속을 제조하였고, 만들어진 삽입금속의 특성을 조사하기 위하여 상용 삽입금속과 비교 평가하였다. 삽입금속들의 젖음성과 미세조직을 조사한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) 기계적 합금화시, 동일한 밀링 조건에서 24, 48, 72시간으로 밀링 시간만 변화하여 만들어진 삽입금속에서 48시간 이후 성분 분말끼리의 응집현상이 나타나기 시작했다. 48, 72시간의 경우 부분적인 압접현상이 있었으나 파괴현상은 나타나지 않았다. 합금의 주요 성분은 Cu-Zn이었고, 그 양은 밀링 시간에 따라 변화하지 않았다. 반면에 X-ray 결과에 근거할 때 Ag₂O와 ZnO의 산화물은 48시간 이후 24시간에 비해 각각 약 15%와 20% 정도 이상 증가하는 것으로 나타났다.

2) 기계적 합금화된 삽입금속을 상용 삽입금속과 비교할 때 젖음각은 상용에 비하여 약 3~5° 높았으나, 일반적인 삽입금속에서 요구하는 젖음각인 25°보다 작은 것으로 나타났다. 기계적 합금화된 삽입금속과 상용 삽입금속 모두에서 미세조직은 동일하게 Cu-rich 초정영역과 Ag-rich의 공정영역으로 구성되어 있었으나, 합금화된 삽입금속, BS-1은 다른 상용 삽입금속과 BS-2에 비하여 기공의 수와 크기가 가장 적은 안정된 조직을 나타냈다.

참 고 문 헌

1. J.Y. Kang et al. : J. of KWE, **10**(2), 11, (1992).
2. K. Roy : Processes and Materials of Manufacture, 3rd edition. Lindberg., 496
3. G.M Slaughter : Welding J., **58**(10), 17, (1979).
4. ASM : Welding, Brazing and Soldering., 6, page
5. C.C. Koch, o.B. Cavin, C.G. Mckamey and J.D. Scabrough : Journal of Apply physics, Letter, **43**, 88, (1983).
6. H. Fleiter : Proceedings of the 2nd Riso Symposium, Denmark, **218**, (1981).
7. R.b. Schwartz, R.R. perrich and C.K. Saw : J. Non-Crst. Solids, **76**, 281, (1985).
8. J.S. Benjamin and J.E. Volin : Metall. Trans., **5**, 1929, (1974).
9. J.S. Benjamin : Metal Powder Report., **45**, 122 (1990).
10. Feng Li, K.N. Ishihara and P. H. Shingu : Metall Trans, **22A**, 2849 (1991).
11. H. Okumura, K.N. Ishihara, P.h. Shingu and S. Nasu : J. Mat. Sci., **27**, 153, (1992).
12. AWS : Welding Handbook, 398, 8th Ed.
13. M. Schwartz : Metal Joining Manual, McGraw-Hill, New York, N.Y., **565**, (1979).
14. C.R. Heiple, S.S. Christiansen, D.L., Keller and et al., : Welding J., **69**(9), 41, (1990).
15. Silver Brazing Alloys-Cadmium Containing, Health and Saefy : The Sheffield Smelting Co. Ltd., Dec (1980).
16. M. Schwartz : Brazing, CHAPMAN & HALL, **87**, (1995).
17. V.R. Miller and A.E. Schwanke : Welding Research Supplement., **57**, 303, (1978).