

은계(BAg) 삽입금속으로 접합된 초경합금 입자와 탄소강 브레이징부의 특성

김광수^{1*}, 김상덕¹

Characteristics of the Brazed Joint between Superhard Alloy Particles and Carbon Steel Using BAg System Insert Metals.

Gwangsoo Kim^{1*} and Sangduck Kim¹

요약 초경합금입자와 탄소강사이의 브레이징 접합부 특성을 평가하였다. 선택된 두 종류의 삽입금속은 기계적 합금 공정으로 만들어졌다. 한 가지는 Cu, Zn, Ag(MIM-1) 그리고 다른 한 가지는 Cu, Zn, Ag과 Cd(MIM-2)로 구성하였다. 삽입금속들의 화학조성은 AWS BAg-20계와 BAg-2a계의 성분과 유사하였다. 그리고 상용삽입금속들(CIM-1, CIM-2) 역시 비교 평가하였다. 삽입금속들의 특성은 젖음성 시험, 전단강도 시험, 그리고 미세조직 관찰로서 나타내었다. 젖음성 시험에서 MIM-1과 CIM-1 삽입금속의 젖음각이 MIM-2와 CIM-2보다 크게 나타났고, MIM-1의 젖음각이 CIM-1보다 더 큰 값을 나타냈지만 모든 경우 젖음각이 25°보다 작았다. 삽입금속, MIM-1이 가장 높은 전단강도를 나타냈고, 그 값은 2.29×10^2 MPa로 측정되었다. 이 값은 상용 삽입금속의 값과 같거나 높은 것으로 나타났다. 삽입금속의 미세조직은 Cu-rich 초정영역과 Ag-rich 공정영역으로 구성되었다. MIM-1계로 만들어진 초경합금과 탄소강의 접합부는 일부 접합부 계면에 기공을 포함하지만 초정을 기지로 하는 안정적인 미세조직을 나타냈다.

Abstract This study was carried out to evaluate brazing characteristics of the braze joint between superhard alloy particles and carbon steel. Two types of insert metals that made by mechanical alloying process were selected for this study. One is composed of Cu, Zn and Ag(MIM-1) and the other one is composed of Cu, Zn, Ag and Cd(MIM-2) The chemical compositions of these insert metals were similar to AWS BAg-20 and BAg-2a system. And the commercial insert metals(CIM-1, CIM-2) were also evaluated for the comparative study. The characterization of the insert metals were conducted by wettability tests, shear tensile test and microstructural analyses. The results indicated that wettability tests displayed that MIM-1 and CIM-1 insert metals had the larger wetting angle than MIM-2 and CIM-2 and the wetting angle of the MIM-1 showed higher value than that of CIM-1. However these values are less than 25° that is recommended for standard value for usual insert metals. The highest value of shear tensile tests was obtained from the brazed joint that made by MIN-1 and the value was 2.29×10^2 MPa. This value is appeared to be higher or same as the commercial insert metals. The microstructures of the inserts metals were composed of Cu-rich proeutectic structure for matrix and Ag-rich eutectic structure. The braze joint between superhard alloy particles and carbon steel produced by the MIM-1(Ag-Cu-Zn) system showed sound joint showing stable microstructures. However there was also some porosities at the interface.

Key Words : Superhard alloy particles, Brazed joint, Insert metal, Shear tensile test, Wettability test

1. 서론

브레이징 접합은 모재, 삽입금속, 플럭스 등 크게 3가

지로 구성된다. 이중 삽입금속의 역할은 접합현상에 있어서 가장 중요한 위치를 차지한다. 삽입금속은 젖음 특성이 우수하여야하고, 유동성이 양호해야하며, 접합 온도에서의 증발현상이 적고 또한 기계적 특성이 우수해야하는 등의 조건이 요구된다. 이러한 요구조건을 만족시키면서 접합모재를 손쉽게 접합시키기 위해 삽입금속은 Rod,

¹순천향대학교 신소재공학과
*교신저자: 김광수(kgwangs@sch.ac.kr)

박판, 분말, 페이스트, 테이프 등의 다양한 형태로 생산되어지고 있다. 그러나 이러한 다양한 삽입금속의 형태에도 불구하고 모재 및 접합매체의 형상, 열원전달 방법 등에 따라 사용되어지는 삽입금속의 형태는 많은 제한을 받게 된다.¹⁻⁴⁾ 예를 들어 접합부를 구성하는 모재나 피접합물의 형상이 불규칙하고, 동시에 다수의 피 접합부를 모재에 접합해야 하는 경우에는 우선적으로 페이스트형태나 분말형태의 삽입금속을 사용하는 것이 효과적이라 할 수 있다. 본 연구에서는 대면적 모재에 약 2.0~2.8mm 크기의 범위를 갖는 작고 불규칙한 초경입자를 다량으로 동시에 브레이징 하고자 하였다. 접합에 사용된 삽입금속은 두 가지 종류를 선택하여 볼을 매개체로 하는 밀링 방법으로 제조된 것과 상대적인 비교를 위하여 동일 조성이지만 상용으로 만들어진 분말형의 삽입금속을 함께 사용하여 초경입자와 탄소강간의 브레이징 접합 특성을 평가하고자 하였다. 일반적으로 분말형의 삽입금속은 혼합용탕으로부터 급속냉각방법에 의존하여 제조되기 때문에 초기 설치가 많이 필요하고 분말입자의 크기를 조절하기 어려운 점이 있다. 반면에 볼 밀링에 의한 합금 방법은 원료분말의 용융과정 없이 혼합분말이 파괴와 압접과정이 반복되면서 강제고용으로 인한 비평형상의 합금화가 이루어지기 때문에 합금계 선택 및 조성의 제한을 극복할 수 있어 유리하다고 할 수 있다.⁵⁻⁷⁾ 삽입금속은 은(BAg type)계를 기본으로 제조된 두 종류와 동일조성의 상용으로 만들어진 것을 사용하였고 이러한 삽입금속들로 만들어진 브레이징부의 특성을 조사하였다. 연구 초기 단계에는 제조된 분말형 삽입금속의 특성을 조사하고자 상용 삽입금속과 제조된 삽입금속의 젖음성, 용융점, 미세조직 등을 관찰하였고, 그 결과를 토대로 최적의 삽입금속을 선정한 후 선택된 삽입금속을 이용하여 탄소강/탄소강과 탄소강/WC계 초경입자를 브레이징하고 그 접합부 특성도 평가하였다.

2. 실험 방법

표 1은 밀링 방법으로 제조된 브레이징 삽입금속과 비교 평가를 위하여 선택한 상용 삽입금속의 화학성분을 나타내고 있다. 이 성분들은 은납계(BAg) 삽입금속 중 AWS규격, BAg20과 BAg2a의 성분을 기본으로 하였다. 원료 급속 분말은 99.9% 이상의 순도를 사용하였으며, 입자의 크기는 대략 300~340 mesh(37~44 μ m) 범위였다. 브레이징 시 삽입금속과 함께 사용되는 플럭스도 은납계 용 플럭스 성분을 바탕으로 크립타입으로 제조하여 사용하였다. 표 2는 밀링에 의한 합금화 조건을 나타내고 있다.

【표 1】 Chemical compositions of insert metals

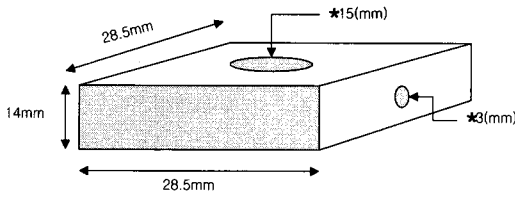
	Symbol	Ag	Cu	Zn	Cd	Others
Manufactured insert metals	MIM-1	30.0	38.0	32.0		
	MIM-2	30.0	27.0	23.0	20.0	
Commercial insert metals	CIM-1	30.0	38.0	32.0		0.15
	CIM-2	30.0	27.0	23.0	20.0	0.15

합금화된 삽입금속의 특성을 알아보기 위하여 각각에 대하여 합금된 상태에서의 분말 형상, 용융점 그리고 젖음성 등을 조사하였다. 이러한 삽입금속의 특성을 토대로 선택된 삽입금속을 이용하여 탄소강/탄소강 그리고 탄소강/WC계 초경입자간의 접합을 실시한 후 접합부의 미세조직관찰, 미세경도 그리고 전단강도 시험을 실시하였다.

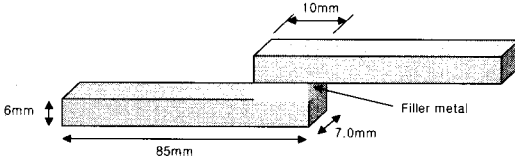
【표 2】 Milling conditions for insert metals

Milling receptacle	glass bottle (Ø60mm)
Milling media	zirconia ball (Ø7mm)
Revolution speed	100rpm
Milling time	48
Powder/ball weight	1 : 2

합금된 상태의 분말형상은 SEM에 의하여 실시하였고, 삽입금속의 용융점 측정은 DSC를 이용하여 Ar 분위기 하에서 20 $^{\circ}$ C/min. 의 상승속도로 1000 $^{\circ}$ C까지의 범위에서 실시하여 고상선과 액상선의 범위를 측정하였다. 젖음성 시험은 그림 1에서 나타난 바와 같이 정사각형(28.5 x 28.5 x 14t mm) 탄소강 모재에 지름 15mm, 깊이 8mm인 홈을 가공하여 시편으로 하였고, 가공된 홈에 1g의 삽입금속과 0.5g의 플럭스를 서로 혼합하여 페이스트(paste) 형태로 장입하였다. 이렇게 삽입금속이 적용된 시편을 900 $^{\circ}$ C에 유지하고 있는 전기로에서 240sec 동안 유지한 후 전기로에서 꺼내고 자연 서냉 하였다. 그리고 홈의 벽면에 이루고 있는 삽입금속의 젖음각을 측정하는 방법을 취했다. 한편 접합부의 기계적 특성을 조사하기 위한 방법으로 실시한 탄소강/탄소강 접합부 전단 시험은 접합부의 삽입금속층이 파단되도록 하기 위하여 시험편은 비교적 두께가 두꺼운 7.0 x 85.0 x 6t(mm)의 크기로 하였고 ASTM에 규정된 Single Lap Tensile Test를 응용하여 실시하였다. 이때 접합부의 총 접합면적은 70 mm²가 되었다. 그림 2는 전단강도 시험에 사용된 시험편의 형상을 나타냈다.



[그림 1] Specimen for wettability



[그림 2] Schematic of the shear test specimen

3. 결과 및 고찰

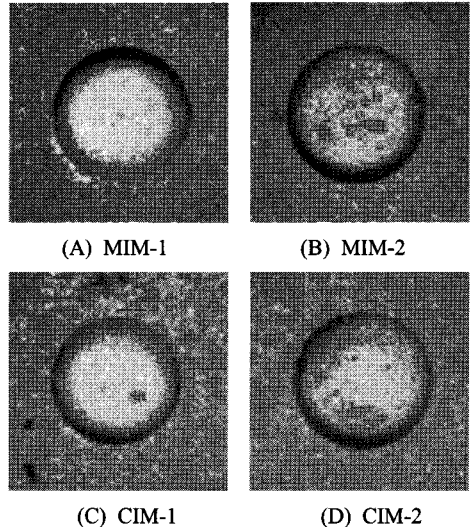
3.1 삽입금속의 특성

표 3은 합금화에 의하여 제조된 삽입금속과 구입된 삽입금속에 대하여 DSC를 이용하여 측정된 용융점 범위와 해당 삽입금속 성분에 대하여 문헌상¹⁰⁾에서 조사된 용융점 범위를 함께 나타내었다. 보는 바와 같이 직접제조 및 구입된 삽입금속 모두 AWS 규격에 비하여 고상선과 액상선이 높은 것으로 측정되었다. 상용 삽입금속의 고상선과 액상선의 상승은 합금시의 불순물 유입이나 용융점 측정 시 발생할 수 있는 오차 범위 내 인 것으로 판단되나 제조된 삽입금속은 오차 범위라고 하기에는 비교적 고상선과 액상선 모두 큰 차이를 나타냈다. 참고로 본고에서는 나타내지 않았지만 제조된 삽입금속의 경우에 밀링에 의해 합금을 하기 때문에 합금 후에는 분쇄된 분말들로 인하여 분말의 비표면적이 증가하고 이로 인하여 산화물이 발생하였는데 이러한 산화물은 합금된 분말의 용점을 높인다고 알려져 있다.

[표 3] Solidus/liquidus temperature range of the insert metals measured by DSC

Types of insert metals		Solidus temperature	Liquidus temperature	S/L range
Manufactured	MIM-1	726	819	93
	MIM-2	668	773	105
Commercial	CIM-1	702	789	87
	CIM-2	634	730	96
AWS specification	BAG20	677	766	89
	BAG2a	607	710	103

그러나 고상선과 액상선의 큰 차이에도 브레이징시 주요 고려대상이 되는 삽입금속들의 고상/액상선과의 범위는 해당 삽입금속의 규격이나 상용 삽입금속과 비교 할 때 큰 차이를 나타내지 않았다. 고상/액상간의 범위가 넓을수록 삽입금속의 유동성이 저하되고 상분리가 심화되는 것을 고려할 때 제조된 삽입금속 경우 브레이징 온도 범위는 약간 높아지겠지만 상용과 규격에 대비하여 현저한 상분리나 유동성에는 차이가 없을 것으로 판단된다. 그림3은 대기중에서 브레이징 열 사이클을 이용하여 합금화된 MIM-1, MIM-2와 상용 삽입금속 CIM-1, CIM-2에 대하여 젖음성 시험을 실시한 시편의 표면 상태를 보여준다. 준비된 사진들은 젖음성 시험을 실시한 후 시험편을 150 μ m의 모래로 표면을 샌딩처리한 후의 시험편 형상을 보여준다. 보는 바와 같이 BAG 20계의 삽입금속이 BAG2a계의 삽입금속의 시편보다 미려한 표면을 보여주지만 제조한 삽입금속과 상용 삽입금속간에는 큰 차이가 없는 것으로 나타났다. 반면에 BAG2a계의 경우 표면에 원형돌기 모양의 잔류물이 존재함을 확인 할 수 있는데 이는 일부 삽입금속이 반응하여 생긴 산화물의 형성에 기인한 것으로 판단된다.



[그림 3] Photographs of the wettability test specimen after sanding treatment

이와 같은 육안에 의한 젖음성 시험이 완료된 시험편들은 실제 젖음성을 정량화하기 위하여 젖음각을 측정하였다. 표 4는 모든 조건의 삽입금속에서 측정된 젖음각의 평균값을 나타내었다. 젖음각 측정 결과 합금화된 삽입금속이 상용에 비하여는 약간 높은 값을 나타냈으나 일반적으로 젖음각이 25°이하인 경우 삽입금속의 젖음성

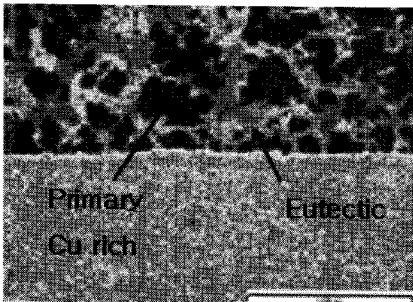
이 양호하다는 것으로 판단할 때^{8,9)} 합금화된 삽입금속의 젖음각은 상용에 비교할 때 유사한 값을 갖는 것으로 나타났다.

[표 4] Wetting angles of the insert metals

Types of insert metals		Wetting Angle(°)
Manufactured	MIM-1	24
	MIM-2	15
Commercial	CIM-1	19
	CIM-2	16

3.2 브레이징 접합부의 특성

그림4는 위에서 언급된 삽입금속중 MIN-1을 사용하여 실험방법에서 설명한 바와 같이 모재를 탄소강으로 하여 두 탄소강간 접합된 전단 인장 시험편의 접합부에서 관찰한 대표적인 미세조직을 나타냈다.



[그림 4] Microstructures of the insert metal between carbon steel and carbon steel brazed joint.

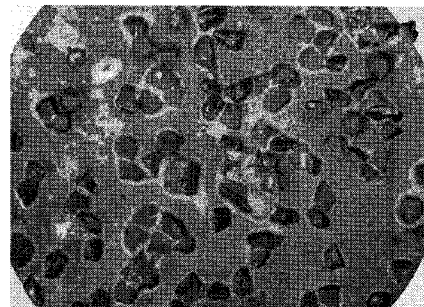
모든 삽입금속에서 Cu-rich인 초정영역이 모재와 접합 경계 부위를 따라 나란히 형성된 것을 확인 할 수 있었으며, 탄소강 모재와 삽입금속 경계부위에서는 일부 기공도 발견할 수 있었다. 접합부에 대하여 EDS검사를 실시하였으나 새로운 반응층은 발견되지 않았고, 접합부는 모재와 삽입금속의 경계부위를 따라 부착된 형태의 물리적 접합 상태를 나타내고 있었으며 이는 다른 연구 결과들과 일치하는 것으로 나타났다.¹⁰⁾ 일반적으로 Fe/Ag 와 Fe/Cu간에는 서로 상대편으로 확산하지 않아 합금을 만들지 않고, 단지 젖음 현상에 의하여 계면 에너지가 개방되어 서로 밀착하고 기하학적으로 접합되는 상태를 나타낸 것으로 판단된다. 접합부의 신뢰성을 평가하기 위해 실시된 전단강도 시험 결과, 가장 높은 강도 값을 나타내는 삽입금속은 MIM-1로 확인되었고 CIM-1, CIM-2, MIM-2의 순으로 나타났다. 표 5는 측정된 전단강도 값을 나타냈다.

[표 5] Results of the shear tensile tests for insert metals

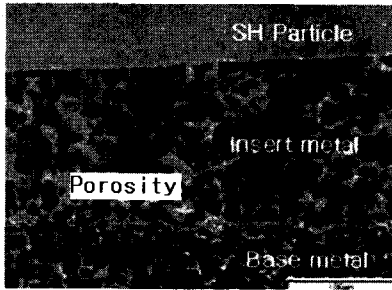
Types of insert metals		Single lap shear tensile strength(MPa)
Manufactured	MIM-1	2.29x10 ²
	MIM-2	1.92x10 ²
Commercial	CIM-1	2.22x10 ²
	CIM-2	1.56x10 ²

이 전단강도 값들은 유사한 삽입금속을 사용하여 연구한 다른 연구자들의 결과^{11,12)}인 2.03x10²MPa와 비교할 때도 제조된 삽입금속의 강도가 약간 높게 나타났으며, 이 결과는 선택된 삽입금속중 MIM-1이 가장 우수한 접합 특성을 나타낼 것으로 판단 할 수 있었다.

따라서 본 연구의 최종 목표가 되는 탄소강 모재와 불규칙한 초경입자간의 브레이징 접합을 실시하였다. 삽입금속으로는 지금까지 검토 결과 젖음각 측정 시편 표면 관찰에서 잔유물이 거의 없고, 가장 높은 전단강도 값을 나타낸 MIM-1삽입금속을 사용하였다. 그림 5는 삽입금속중, MIN-1을 이용하여 모재인 탄소강과 초경합금입자를 접합하고 난 후의 접합부 표면상태(A)와 SEM으로 관찰된 접합부의 단면 미세조직(B)을 보여준다. 불규칙한 형상의 초경입자가 평면의 탄소강에 제조된 삽입금속, MIN-1로 접합된 상태를 보여주는데 평면의 탄소강보다는 초경 입자 주위로 삽입금속이 다량 분포하고 있다. 이는 삽입금속이 불규칙한 초경입자와 탄소강 사이의 공간에서 발생하는 젖음현상에 기인하기 때문이다. 전반적으로 입자와 탄소강에는 접합이 잘 되었으나 초경입자끼리 군집하는 현상도 나타났다. 그림5(B)는 SEM으로 관찰된 접합부 단면 미세조직을 보여주는데 상단의 회색을 띠는 초경입자와 하단의 탄소강 모재가 중간층의 삽입금속에 의하여 접합된 형상을 보여주고 있다. 접합부에서 다른 반응층은 형성되지 않았으며 일부의 기공이 탄소강과 삽입금속사이에서 관찰되기도 하였다.



(A) Macroscopic view of the as-brazed joint.



(B) Microstructure of the superhard alloy particles/carbon steel brazed joint.

[그림 5] Macro/micro-structure of the brazed joint.

4. 결론

형상이 불규칙한 초경입자와 평면의 탄소강간 접합을 위하여 직접 분말형의 삽입금속을 제조하였다. 이렇게 제조된 삽입금속에 대하여 젖음각 측정, 미세조직, 그리고 전단강도 등에 의하여 삽입금속의 특성을 조사하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 제조된 삽입금속들은 상용 삽입금속의 젖음각에 비하여 거의 같거나 약간 큰 값을 나타냈지만 일반적인 삽입금속에서 요구하는 최대 젖음각 25° 이하의 값 범위를 나타냈다.
2. 고상과 액상의 온도와 고상/액상간의 온도 범위가 제조된 삽입금속에서 상용 삽입금속에 비하여 고상과 액상의 온도가 약간 높고, 온도 범위가 컸지만 규격에 비교하여 큰 차이를 보이지 않았다.
3. 전단강도를 비교할 때 제조된 삽입금속은 상용 삽입금속에 비하여 높거나 유사한 값을 갖는 것으로 나타났다.
4. 표면 젖음상태가 가장 양호하고 전단강도가 가장 높은 MIN-1을 이용하여 만들어진 초경입자와 탄소강간의 접합부는 계면에 일부 기공을 포함하지만 안정적인 미세조직을 나타내며 건전한 접합부를 만드는 것으로 확인 할 수 있었다.

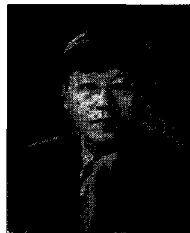
참고문헌

[1] G.M Slaughter : Welding J. vol 58, No.10, (1979), pp17-28
 [2] ASM : Welding, Brazing and Soldering. vol.6
 [3] K. Roya : Processes and Materials of Manufacture, 3rd edition, Lindberg. pp496-503

[4] J. Y Kang et. al. : J. of KWE, vol.10, No.2, (1992)
 [5] J. S. Benjamin and J. E. Volin : Metall. Trans., vol. 5, (1974), pp1929
 [6] C.C. Koch, o.B. Cavin, C.G. Mckamey and J.D. Scabrough : Journal of Apply physics, Letter, vol.43, (1983)
 [7] R. b. Schwartz, R. R. perrich and C. K. Saw: J. Non-Crst. Solids, vol. 76, (1985). pp281
 [8] H. Fleiter : Proceedings of the 2nd Riso Symposium, Denmark, (1981)
 [9] Silver Brazing Alloys-Cadmium Containing, Health and Safty : The Sheffield Smeting Co. Ltd., Dec (1980)
 [10] M. Schwartz: Brazing, CHAPMAN&HALL, pp87-93
 [11] V.R. Miller and A.E. Schwanke ; Welding Research Supplement, vol.57, Oct., (1978), pp 303s-3
 [12] C. R. Heiple, S.S. Christiansen, D.L., Keller and et al., : Welding J. vol.69, No.9, (1990) pp41-4310s
 [13] V.R. Miller and A.E. Schwanke ; Welding Research Supplement, vol.57, Oct., (1978), pp 303s-310s

김 광 수(Gwangsoo Kim)

[정회원]



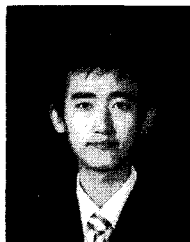
- 1987년 2월: 일리노이주립대학교 (시카고) 재료공학과(공학석사)
- 1990년 2월: 일리노이주립대학교 (시카고) 재료공학과(공학박사)
- 1991년 ~ 현재: 순천향대학교 신소재공학과 교수

<관심분야>

재료분야, 용접, 마이크로 접합

김 상 덕(Ducksang Kim)

[준회원]



- 2007년 2월: 순천향대학교 신소재공학과(공학사)
- 2007년 2월 ~ 현재: 순천향대학교 신소재공학과 석사과정

<관심분야>

재료분야, 용접, 마이크로 접합