

# Ag-Cu-Zn계 filler metal을 이용한 steel / Co-Fe 용접 특성 평가 (Brazing Characteristics of Steel / Co-Fe Using Ag-Cu-Zn filler metal)

이주원, 이창희

한양대학교 금속 공학과 표면개질 및 접합 야금 연구실

## 1. 서론

다이아몬드 공구는 다이아몬드가 갖는 높은 경도와 내마모성을 이용하여 각종 경질 난삭재를 연삭하고 절삭하거나 높은 정밀도를 요구하는 가공에 널리 쓰이고 있으며 그 수효도 증가하고 있다. 그중 다이아몬드 커팅 휠(diamond-bearing cutting wheel)은 석재, 내화물, 콘크리트, 비금속 건축용 재를 절단하는데 사용되고 있으며, 미국, 유럽 및 국내를 포함한 전세계에 관련산업이 널리 확산되고 있다.

이러한 커팅 휠은 탄소강의 몸체(shank)에 다이아몬드 입자를 함유한 공구용 소결체(tip or segment)를 접합시켜서 제조하고 있다. 최근에는 고주파 유도에 의한 브레이징 장치를 사용하여 자동화 시스템에 의한 커팅 휠을 제조하여 생산성을 향상시키지만, 고주파 유도 브레이징 등으로 제조되고 있는 현재의 커팅 휠 제조 공정에서 당면하고 있는 문제점은 단순히 경험에 의존하여 이루어지는 공정이 대부분을 차지한다는 점이다. 따라서 커팅휠의 접합부의 우수한 야금학적, 기계적 특성을 얻기 위해서는 좀 더 체계적인 접합 특성을 이해해야 할 필요성이 있다.

## 2. 실험방법

본 연구에서는 shank로 SK5(탄소강)을, 용가재는 BAg3S와 BAg22를 tip으로는 다이아몬드 입자가 들어있는 Co-Fe-Cu-Ag를 사용하였다. 본 연구에서 사용된 재료들(샹크, 팁, 용가재)의 화학성분과 온도특성을 Table. 1에 나타내었다. 이상과 같은 재료들을 이용하여 본 연구에 사용된 유도 브레이징 실험장비에 적용될 수 있는 표준 시편크기로 제작을 하였다. 용가재로는 Table. 1 와 같이 각각 성분비 및 용융점이 다른 2가지의 용가재를 가지고 브레이징 실험을 실시 하였다. 용가재의 규격은 폭 5 mm, 두께 0.3mm의 크기를 가지고 있으며 foil 형태를 하고 있다. 이러한 재료를 다이아몬드 커팅휠 제작 전용으로 사용되고 있는 고주파 유도브레이징 장치를 이용하여 Table. 2에 나타나있는 브레이징 공정 변수에 따라 온도와 유지시간을 변화시키며 실험을 실시하였다.

그리고 용접부의 접합 강도 평가를 위하여 토크 테스트를 실시하였고 광학 현미경, 주사 전자현미경, EDS를 통하여 야금학적 분석을 하였다.

## 3. 실험 결과 및 고찰

Fig. 1와 Fig. 2는 BAg3S와 BAg22 용가재를 사용한 경우의 공정변수에 따른 강도측정결과를 나타내고 있다. 각각 (a)는 브레이징 온도(power) 변화를, (b)는 유지시간 변화에 따른 결과를 나타내고 있다. 기준 강도는 DSA(독일 안전 협회)의 497Kgf.cm)를 기준으로 하였다.

두 용가재에서의 강도특성을 비교하면 BAg3S가 비교적 넓은 범위의 power와 시간에서 좋은 강도를 나타내는 반면 BAg22는 power와 시간에 민감한 반응을 보였다. 또 BAg22(70%, 11초)가 BAg3S(78%, 10초)보다 더 높은 power와 긴 시간에서 최고 강도를 보였다.

두 용가재의 이러한 power와 시간의 차이는 BAg22가 BAg3S에 비해 용점이 높고 액상선과 고상선 구간이 넓은데 있다. 순수한 금속에서와는 달리 합금에서는 일반적으로 고상선과 액상선이 분리되어 있는데, 브레이징에서 용가재의 유동성은 이 구간의 넓이에 크게 영향을 받는다. 이 고액 공존역이

넓으면 브레이징시 고상과 액상이 분리되고 접합부에서의 유동성은 크게 낮아진다. 이러한 액화 현상은 급속한 가열을 하여 막을 수 있다.

fig. 3는 접합부의 EDS mapping 결과이다. 그림에서와 같이 tip, filler, shank 사이에 주목할만한 반응이나 확산이 일어나지 않았음을 알 수 있다. 이렇게 접합부 반응이 없는 경우 접합강도 변화에 영향을 주는 인자를 알아보기 위해 접합부를 좀더 자세히 관찰하였다.

접합부는 모재 filler metal과 같이 Cu-rich의 초정상과 Ag와의 공정 조직으로 이루어진다.(Fig. 4) Cu-rich의 초정상은 높은 경도를 가지는 brittle한 성질을 지닌다. 이는 파단면 관찰을 통해서도 확인되었다. 이런 점에서 공정상이 형성된 정도와 형태는 접합 강도에 영향을 준다는 것을 알 수 있다. 이에 공정 변수에 따른 초정상의 형성 차이를 관찰하였다.

초정상은 공정상에 의해 둘러 쌓인 것(Fig. 4(a))과 불균일 핵생성에 의해 tip과 filler의 계면에 연속적으로 형성된 것(Fig. 4(b))으로 나누어 볼 수 있다. 전자의 경우 초정상은 공정 조직에 둘러 쌓여 있어 강도에 큰 영향을 미치지 않지만, 후자의 경우 적절한 초정상 형성은 젖음성 향상에 의해 강도 증가를 주는 반면 그 형성 정도가 큰 경우 brittle한 파괴 경로를 제공할 수 있다. 특히 젖음성은 반응이 없는 계면에서의 접합 강도를 좌우하는 중요한 요인이 된다. 이에 계면에 형성된 초정상을 계면 층이라고 이름 붙이고 접합 강도와의 관계를 이야기 하겠다.

fig. 5는 공정 변수에 따른 계면층 형성 정도를 보여준다. 두 filler metal 모두 3 $\mu$ m 정도의 계면층 두께에서 적정 강도를 나타내었다. 1 $\mu$ m 미만의 계면층에서는 연속적인 계면층 형성이 안되어 적정 강도가 나오지 않았고 5 $\mu$ m 이상의 계면층에서는 파괴 경로를 제공하여 강도 감소를 보였다. 특히 BAg22의 경우 온도 (power)증가에 따라 계면층 형성이 크게 증가하는데, 이는 BAg3S에 비하여 BAg22의 강도가 온도 증가에 따라 급격히 떨어지는 결과와 일치한다.

#### 4. 결론

1. Cd free인 BAg22의 경우 Cd가 함유된 BAg3S에 비하여 높은 용융점과 넓은 고액 공존역을 가지고 있고 유동성도 낮아 보다 높은 온도와 긴 시간의 브레이징에서 최고 강도를 보였다.

2. BAg3S와 BAg22 두 filler metal 모두 3 $\mu$ m 내외의 계면층이 형성될 때 기준 이상의 접합강도가 나타났다.

#### 5. 참고문헌

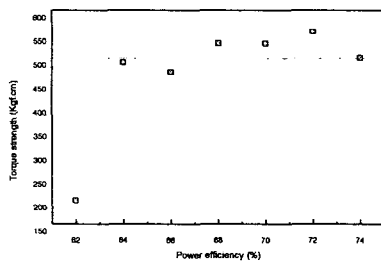
1. V.V Borisova, S.M. Kutev and S.F. Moryashev, "Laser welding diamond bearing segments to steel holders" Paton Welding Journal 1993 5(1) 56-58
2. "철강기술 VII : 용접부문", 산업과학기술연구소, 1992, 417~429
3. R. M. German, horizon of powder metal.II, proceedings of P/M' 86
4. P.M.Robrts "Recent developments in Cd-free silver brazing alloys" Welding Journal (1978)

Table 1. Chemical compositions and thermal characteristics of test samples

구성	재료(wt%)									
Shank	화학 조성	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Al	Fe
		0.85	0.26	0.45	0.015	0.004	0.26	0.47	0.02	balanced
Tip	Co 45%, Fe 45, Cu 7%, Ag 3% Diamond (high 집중도 17%, low 집중도 14%)									
Filler metal	분류 기호	화학조성						온도범위(°C)		
		Ag	Cu	Zn	Cd	Mn	Ni	고상선	액상선	
	BAG22	49	16	23	0	7.5	4.5	627	704	
BAG3S	48	15.5	16.5	14	4	2	610	660		

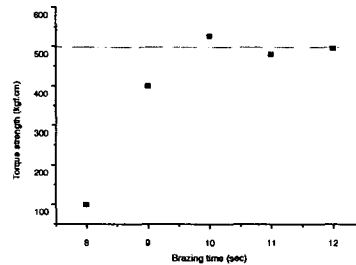
Table 2 Brazing conditions

공정변수		설정값
1st Brazing Power		62~74
2nd Brazing Power		20
1st Holding time(sec)		8~13
2nd Holding time(sec)		2
Cooling time(sec)		4
공통변수	냉각수	5 l/min
	수온	18°C
	압축공기	7-8 bar



(Max power 7KW, 10sec)

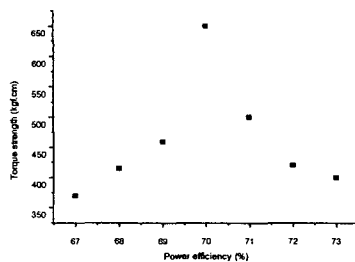
(a)



(power efficiency 68%)

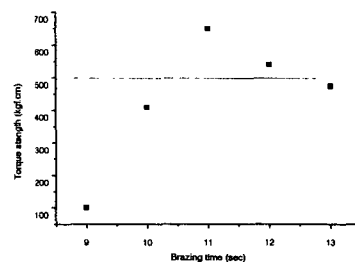
(b)

Fig. 1 Relationship between strength and brazing conditions on BAg3S filler metal



(max power 7KW, 11sec)

(a)



(power efficiency 70%)

(b)

Fig. 2 Relationship between strength and brazing conditions on BAg22 filler metal

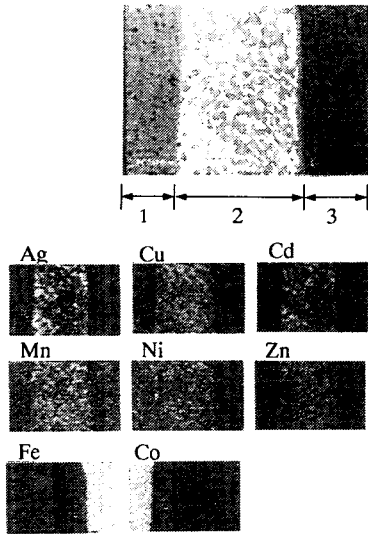


Fig. 3 Micro structure and Mapping

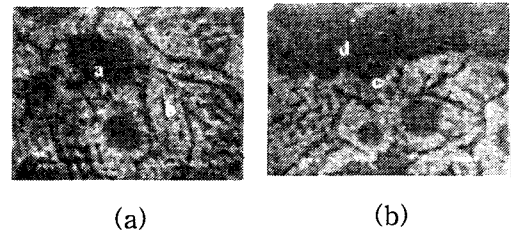
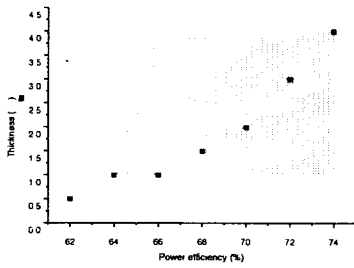
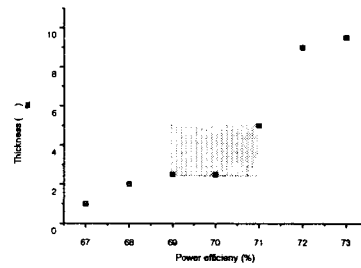


Fig. 4 Micro structure of joint region



(Holding time 10 sec)

(a)



(Holding time 11sec)

(b)

Fig. 5 Relationship between interface layer thickness and brazing power (a) on BAg3S, (b) on BAg22