

無酸素銅의 마찰 용접 성능 향상을 위한 알루미늄 삽입제의 영향

정 호신*, 여 태웅*, 변 승환*, 성 문규*

* 부경대학교

Effect of Al-insert metal for improvement of friction welding characteristics of oxygen free high conductivity copper

Ho-shin Jeong*, Tae-woong Yeo*, Sung-Hwan Ben*, Mon-ku Sung*

1. 서론

동은 열전도도와 전기전도도 및 가공성이 매우 좋은 재료이며 인장강도도 적당히 높고, 어닐링으로 성질을 조절할 수 있을 뿐 아니라, 해수나 기타의 각종 약품에 대한 내식성도 우수하기 때문에 이러한 특징을 이용하여 특히 각종의 전기·전자재료나 화학기기, 해수용 기기, 박용부품 등에 적용되어 사용 분야가 매우 넓다¹⁾.

동과 동합금의 용융용접에는 다양한 방법이 적용되고 있으며 MIG, TIG, SAW 및 Electroslag 용접이 사용되고 있다. 그러나 동은 열전도는 연강의 8배 이상, 알루미늄의 2배 정도이기 때문에 용융용접시에는 충분한 용입이 얻어지기 위해서는 높은 온도로 예열할 필요가 있으며 이에 따라 열영향부가 매우 넓고, 이 부분의 결정립이 조립화되어 강도와 연성이 낮아진다^{2,3)}. 또한 열팽창 계수가 연강보다 50% 정도 크기 때문에 용접과정중의 수축응력이 커질 우려가 있다.

따라서 용융용접하면 냉각에 의한 수축과 응력집중에 의해 균열이 발생될 위험성이 크다. 특히 후판으로서 구속도가 클 경우나 동합금의 경우, 이러한 경향이 강하다. 또한 열 스트레인이 크기 때문에 적당한 크기의 gap을 가공할 필요가 있으며 용접시에 용입 부족, 슬래그 잔류 등의 결함이 생기기 쉽다⁴⁾. 또한 용융용접시에는 일반적으로 기공이 생기기 쉬우며 이것은 용융 동의 수소 용해도가 온도의 변화에 따라 급격하게 달라지기 때문이다. 순동의 경우에는 용접균열이 발생되기 어렵지만 동합금의 경우에는 고온 균열 감수성이 매우 높다. 이 때문에 균열을 방지하기 위하여 peening하여 결정립을 세립화하거나 입열량을 낮추어 과열을 방지하여야 하는 등 동과 동합금의 용융용접시에는 상기한 바와 같은 여러 사항을 고려하여야 한다.

한편 동과 동합금 또는 동과 이종재의 접합은 각종 stud bolt, 각종의 전기 회로용 부품, 전극, 원자력용의 가열 장치 및 가스 밸브 컨트롤러 등에 적용되고 있을 뿐 아니라 최근에는 우주 왕복선 냉각 장치의 냉각능을 높이기 위하여 열전도도가 좋은 동은 동이 고려되고 있기 때문에 동은 마찰용접 적용 가능성이 점점 더 증가할 것으로 생각된다. 따라서 상기한 바와 같은 동 및 동합금의 용융 용접시에 발생하는 각종의 야금학적인 문제점을 해결하고, 동 및 동합금 용접시의 용접성 향상, 생산 원가의 절감 및 신뢰성 향상을 위하여 마찰용접하였다. 또한 동은 마찰용접시의 강도 향상을 검토하기 위하여 알루미늄 삽입제를 사용하여 용접부의 강도와 이음효율의 향상 가능성을 검토하고자 하였다.

2. 실험 방법

2.1 시험재료

본 실험에 사용한 재료는 시판용 무산소동 봉재로서 직경은 18mm이다. Table 1에 본 실험에 사용한 무산소동 봉재의 화학성분을 나타내었다. 이 봉재를 90mm의 길이로 절단한 후 선반으로 가공한 뒤 용접전에 알콜과 아세톤으로 용접대상면을 세정하였다. 그리고 Al 삽입 금속을 사용한 경우와 동종재의 경우로 나누어 마찰 용접하였다. 마찰용접에는 브레이크 방식의 마찰용접기를 사용하였다.

2.2 마찰용접 조건

브레이크 방식에 있어서의 마찰 용접시의 용접조건에 관한 인자로는 마찰 압력 (P_1), 업셋 압력 (P_2), 마찰 시간 (t_1), 업셋 시간(t_2), 회전수(N) 등이 있으나, 본 실험에서는 업셋 길이 제어를 통해서 마찰용접에 영향을 주는 인자, 마찰 압력 (P_1), 업셋 압력 (P_2), 업셋 시간(t_2), 회전수 (N)를 예비 실험을 통해서 적절한 인장강도와 최적의 용접이음효율을 얻을 수 있는 조건을 구하였다.

마찰용접부의 성능 향상을 위하여 알루미늄 삽입재를 사용하여 마찰용접한 경우, as-weld의 경우와 급랭처리한 후 시효처리한 조건으로 나누어 이들 조건의 변화에 따른 인장강도의 변화거동을 조사하고자 하였다.

Table 2는 마찰 용접 조건을 나타낸 것으로, 마찰압력 P_1 은 약 1kgf/mm^2 , 업셋 압력 P_2 는 $1\sim 2\text{kgf/mm}^2$, 업셋 길이 δ 는 $1\sim 3\text{mm}$, 업셋 시간 t_2 는 각각 2, 6초로 하였다.

2.3 인장시험

용접부의 용접성을 평가하기 위해서 인장을 시험을 하였다. 본 실험에 사용한 인장시험기로는 Shimadzu사의 REH-30(30ton) 만능인장시험기이다. 인장시험편은 Fig. 1(a)에 나타낸 바와 같이 KS 10호 시험편으로서 평행부의 직경 12.5mm, 평행부의 길이는 60mm이며 인장시험시의 표점 길이는 50mm이었다. 그리고 용접부의 인장특성을 알기 위해 용접부에 notch를 가공하여 인장시험을 하였다. 이 경우의 인장시험편의 형상과 치수를 Fig. 1(b)에 나타낸다.

2.3 경도 측정

경도측정은 SHIMADZU사의 micro vickers hardness tester HMV-2000으로 측정하였으며 용접조건에 따른 경도의 측정과 시효처리 시간에 따른 경도의 변화를 조사하였다.

3. 실험결과 및 고찰

Fig. 2(a),(b) 및 Fig. 3(a),(b)에 자연시효 및 인공시효에 따른 경도 변화를 나타내었다.

Fig. 2에서 알 수 있는 바와 같이 업셋 길이 2mm인 경우에는 업셋 길이 3mm의 경우보다 약간 경도가 높았다. 그리고 모재에 비해 용접부의 경도가 약간 높았다. 또 Fig. 3에서 시효처리 시간이 증가할수록 경도값은 증가하나 업셋 길이 2mm인 경우는 3시간 시효처리 하였을 때 최고 경도 피크가 얻어졌고, 과시효되면 경도값이 감소하였다. 업셋 길이 3mm인 경우에는 2시간 시효처리한 경우, 최고 경도가 얻어졌고, 이 경우에도 시효 시간이 증가하면 경도값이 감소하였다.

또 Fig. 2과 Fig. 3를 비교하여 보면 Fig. 3쪽의 경도치가 $30\sim 40\text{Hv}$ 정도 높았다. Fig. 3로부터 Al 삽입금속의 영향을 생각해보면 마찰용접할 때 얼마나 많은 알루미늄이 구리모재쪽으로 확산해 가느냐에 따라 경도에 차이가 남을 알 수가 있다^{5),6)}. 또 시효시간이 길어지면 용접부 근방의 시효 석출물의 경도 상승 효과가 감소하게 됨을 알 수가 있다.

Fig. 4는 시효시간과 평균 경도를 나타내었다. 이 경우에도 역시 Fig. 3와 같이 시효시간이 증가함에 따라 평균 경도값은 증가하나, 과시효되면 평균 경도값은 감소함을 알 수 있다.

Table 2는 마찰용접조건을 정리한 것이다. 구리 합금의 마찰용접은 마찰용접 조건에 매우 민감하며 마찰용접조건이 미묘하게 변하더라도 플래쉬의 형상이나 용접 상태에 차이가 존재한다.

Table 3은 Al 삽입금속을 사용하지 않은 경우의 인장시험 결과를 나타낸 것이다⁷⁾.

이 표에서 알 수 있는 바와 같이 동종재를 마찰하여도 용접이음효율이 97% 이상이 되나, 모재에서 파단이 되었고, 파면의 양상은 cup & cone type이었다.

Table 4은 마찰용접한 재료를 인장시험한 경우의 결과를 정리한 것이다. 이 표에서 알 수 있는 바와 같이 업셋 길이를 2mm와 3mm한 경우에 시효처리를 한 경우와 시효처리하지 않은 경우의 인장강도를 비교하면 거의 인장강도값의 차이가 나지 않음을 알 수 있다. 알루미늄 삽입금속을 사용하면 용접이음효율을 97% 이상으로 할 수 있다.

또 Al 삽입금속을 사용한 경우의 용접부 인장강도를 조사하기 위하여 용접부에 notch를 가공하였

다. 이 경우의 인장강도는 모재보다도 $5\sim 7\text{kgf/mm}^2$ 정도 높고, 용접이음효율이 120% 이상으로 됨을 알 수 있다. 즉 AI 삽입금속을 사용하여 마찰용접하면 용접부의 인장강도는 20% 이상 상승함을 알 수 있다.

Fig. 5은 인장강도와 업셋 길이와의 상관관계를 보여주고 있다.

이 그림에서 보는 바와 같이 노치를 가공한 시편과 가공하지 않은 시편 모두 업셋 길이가 증가함에 따라 인장강도는 약간 증가하다가 업셋 길이가 3mm 이상이 되면 약간 감소하는 추세를 보여주고 있다. 따라서 업셋 길이 2mm인 경우의 인장강도가 가장 높았다.

업셋 길이가 증가함에 따라 인장강도가 증가하나 과도하게 업셋 길이가 증가되면 인장강도는 감소하게 된다. 업셋 길이가 길어지면 그만큼 마찰시간이 길어지고 즉, 입열량이 증가될 뿐 아니라 알루미늄이 거의 플래쉬로 배출되어버리기 때문이다. 그러므로 적절한 업셋 길이 제어를 통해 최고의 인장강도를 얻을 수 있는 조건을 선정하여야 할 필요가 있다.

그리고 각종의 연구 결과^{8),9),10)}에 의하면 업셋 길이 변화량 δ 는 마찰용접시간에 비례하기 때문에 t_1 , t_2 는 δ 에 포함되는 인자라고 할 수 있으므로, 업셋길이의 제어를 통해 마찰시간이나 입열량 제어가 가능할 것으로 사료된다.

상기한 바와 같은 결과를 바탕으로 건전한 용접부를 얻기 위해서는 마찰용접시 변위 제어가 유용함을 알 수 있었다.

4. 결론

동의 마찰용접에 관한 연구를 수행한 결과, 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

동은 열전도도가 높기 때문에 용융용접하기 위해서는 예열하거나 용접입열량을 엄밀하게 제어하여야 하는 등 여러 가지 사항을 고려하여야 하지만 마찰용접하면 동의 열전도도가 높다는 점 자체를 유효하게 이용할 수 있기 때문에 단시간에 경제적이고 효율적이고 건전한 용접부를 얻을 수 있음을 확인할 수 있었다. 또한 동의 마찰용접시, 변위 제어법은 실제적이고 효율적인 방법이 될 수 있으며 용접부의 이음 효율이 모재와 동등한 건전한 용접부가 얻어지는 방법을 확인할 수 있었다. 그리고 마찰용접시 AI을 삽입금속으로 사용하면 구리 동종재의 마찰용접부에 비해 용접성이 향상됨을 알 수 있었다.

참고문헌

1. West E.G., "Copper and its alloy", Ellis Horwood Limited, 1982, pp. 13-21
2. 鈴木春義, 溶接ハンドブック, "銅とその合金の溶接", 山海堂, 1978, pp. 667-692
3. 宮尾信昭, "銅及び銅合金の溶接", 日本溶接學會 東海支部資料, 1986.2
4. AWS, Welding Handbook, vol. 4, 7th ed., "Copper alloys", 1982, pp. 270-297
5. 有年 雅敏, "銅-W燒結合金と純アルミニウムとの摩擦壓接", 日本溶接學會, vol 9-4, 1991, pp 10-17
6. 有年 雅敏, 沖田 耕 三, "無酸素銅と純アルミニウムとの摩擦壓接", 日本溶接學會, vol 9-4, 1991, pp 3-10
7. 정호신, "無酸素銅의 摩擦溶接特性에 관한 研究", 海洋工學會誌, 1996, pp 168~172
8. 朝比奈敏勝, 加藤數良, 時末光, "AZ31Mg合金の摩擦壓接", 輕金屬, vol.41-10(1991), pp. 674~676
9. 加藤數良, 小野田健亨, "Al-Si系急冷凝固粉末冶金合金の固相溶接", 輕金屬, vol.41-10(1991), pp. 693~698
10. 加藤數良, 時末光, "アルミニウム合金異形材の摩擦壓接", 輕金屬, vol.41-12(1991), pp. 808~814

Table 1 Chemical composition of oxygen free copper

Chemical composition, wt%,				
Cu (%)	O ₂	Pb	S	ELS
	×10000(%)			
99.99	2	7	7	15

Table 2. Friction welding condition of OHFC copper.

Specimen No.	Friction Press. (P ₁) kgf/mm ²	Upsetting Press. (P ₂) kgf/mm ²	Upsetting Time (t ₂) sec	rpm (N)	Upset distance. (δ: mm)	Rapid cooling	Thickness of Al-foil mm
CA1	1	2	6	2000	1	-	0.3
CA2					1.5	○	0.3
CA3					-	-	0.3
CA4					-	-	
CA5					2	○	
CA6					○		
CA7					○		
CA8					○		
CA9					-	-	0.3
CA10					-	-	
CA11					-	-	
CA12					3	○	
CA13					○		
CA14					○		
CA15					○		
CA16	1.265	1.265	2	1800	1	-	-
CA17					1.5	-	-
CA18	1.012				2	1800	2
CA19		-	-	-			

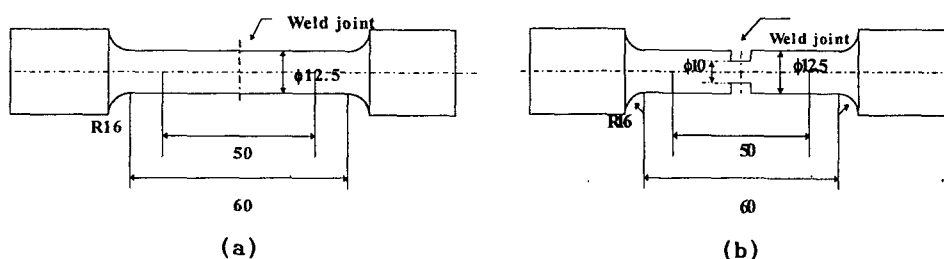


Fig. 1 Shape and dimensions of tensile test specimen

- (a) Smooth bar specimen
- (b) notched bar specimen

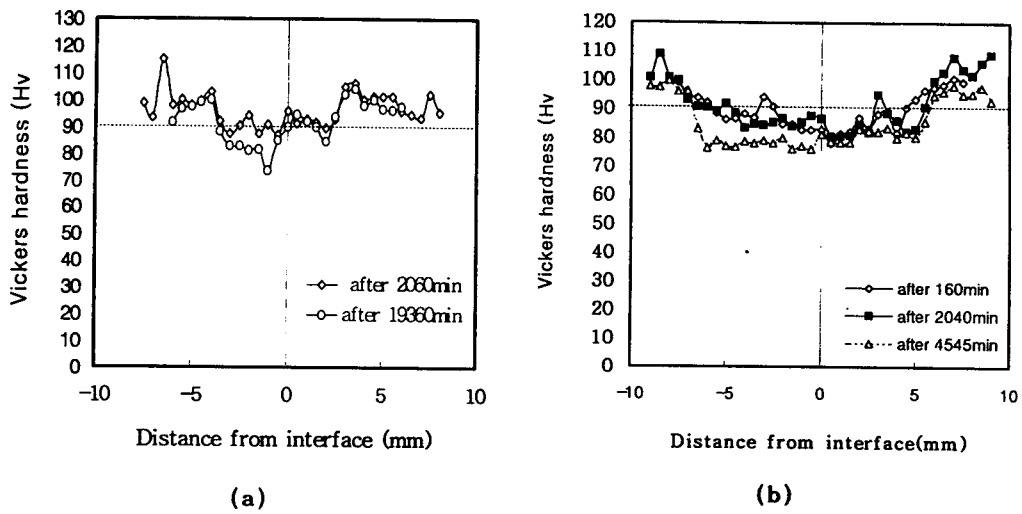


Fig. 2 Change of hardness with natural aging time
 (a) Upset distance : 2mm
 (b) Upset distance : 3mm

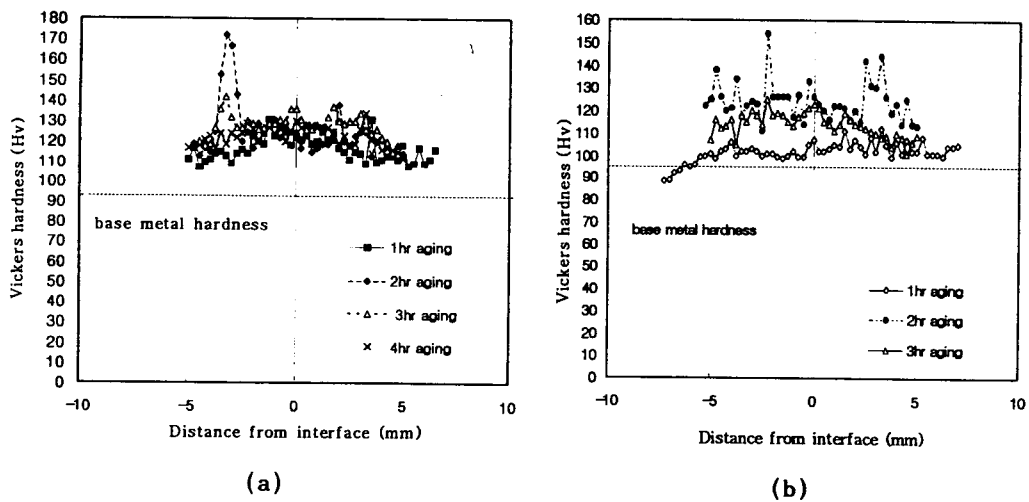


Fig. 3 Change of hardness with aging time
 (a) upset distance : 2mm
 (b) upset distance : 3mm

Table 3. Tensile testing results of friction welded joints

Specimen No.	Tensile strength (kgf/mm ²)	Elongation %	Reduction of area %	fracture mode	aging treatment	Joint efficiency %
CA16	24.58	48.0	84.4	cup & cone	-	98
CA17	24.58	49.5	84.4	cup & cone	-	98.4
CA18	24.48	43.5	80.9	cup & cone	-	98
Base metal	24.99	59.3	83.5	cup & cone	-	

Table 4. Tensile testing results of friction welded joints at commercial copper

Sample No.	Tensile strength (kgf/mm ²)	Elongation %	Reduction of area %	fracture mode	aging treatment	shape of specimen	Joint efficiency %
CA1	21.48	15.06	37.4	cup & cone	-	smooth	88.1
CA2	28.22	15.08	-	Slant and cup & cone	3hr	notch	115.6
CA3	23.15	24.38	44.4	Slant and cup & cone	-	smooth	95
CA4	30.62	15.48	-	cup & cone	-	notch	125.6
CA5	23.48	40.32	84.6	cup & cone	3hr	smooth	96.3
CA6	23.64	35.16	55.8	Slant and cup & cone			97
CA7	21.34	5.38	-	cup & cone	3hr	notch	87.5
CA8	29.37	11.92		cup & cone			120.5
CA9	23.68	27.2	52	cup & cone	-	smooth	97.1
CA10	29.35	11.84	-	Slant and cup & cone	-	notch	120.4
CA11	23.00	4.74		cleavage			94.3
CA12	23.68	52.56	85.86	cup & cone	2hr	smooth	97.1
CA13	30.56	14.64	-	cup & cone	2hr	notch	125.3
CA14	29.24	12.38		Slant and cup & cone			120
Base metal	24.38	58.44	85.6	cup & cone	-	smooth	

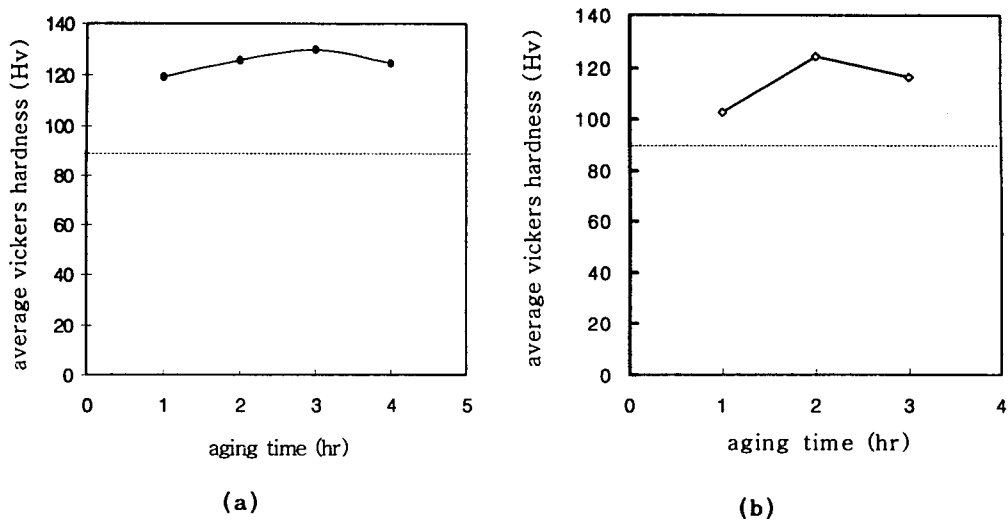


Fig. 4 average hardness change with aging time
 (a) upsetting distance : 2mm
 (b) upsetting distance : 3mm

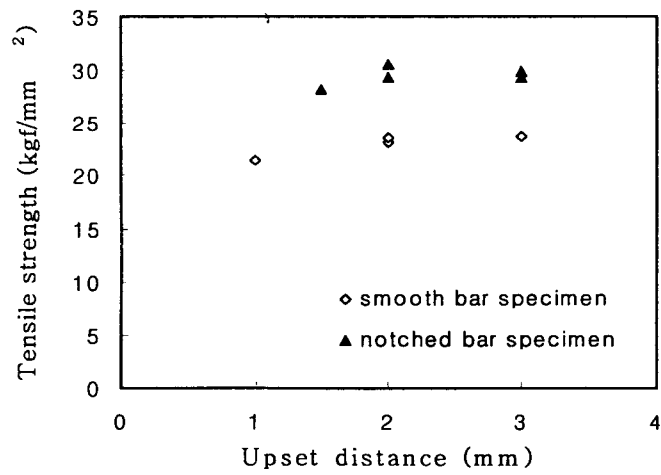


Fig. 6 Relation between tensile strength and forging upset distance