

특수접점용 W-Cu 소결합금과 터프피치 동과의 마찰용접에 관한 연구

Study on Dissimilar Friction Welding of Sintered Electrical Contacts W-Cu to Tough Pitch Copper

전태인**, 오세규*, 문광일**, 윤종철**, 김정환**

* 부산수산대 공대 기계공학과, 부산

** 부산수산대 대학원 기계공학과, 부산

1. 서 론

중전기기용 접점인 W-Cu소결합금은 전기전도성이 좋은 구리와 고용점의 내화성 금속인 W을 조합한 합금으로 내arc성 및 내마모성이 우수한 재료이다. 그러나 W-Cu소결합금은 고가이고 제조상의 문제 때문에 개폐부분 전체를 이 재료로 사용하지 않고 경납땜(brazing)에 의하여 동과 접합하여 사용되어 오고 있으나, 접합강도의 부족, 접합성의 불량등 문제점이 있으므로¹⁾, 이를 개선할 필요가 있다.

따라서 본 연구에서는 이들 문제점의 해결과 보다 우수한 접합법 개발을 목적으로 접점의 기본인 W-Cu와 동과의 마찰용접성 시험을 통하여 적절한 최적 용접조건, 인장시험, 연신율, 단면수축율 등 강도와 인성을 고려하여 구하고, 이들 용접조건과 용접부강도 및 AE(acoustic emission)²⁾와의 상관성을 구하여 실시간에 용접품질을 평가할 수 있도록 하였으며, 이들 연구결과가 초고압 차단기 접점의 개발에 이용될 기초자료가 되도록 하였다.

2. 시험편 및 실험방법

본 실험에 사용된 재료는 고경도, 고온, 내마모성이 강한 W-Cu텅스텐계 합금과 전연성 및 전기 전도도가 우수한 터프피치 동(tough pitch copper) 환봉재(C1100)이다.

W-Cu 및 동에 대한 적정 마찰용접조건을 결정하기 위하여 시험편을 회전수 $n=2,000\text{rpm}$, 마찰가열압력 $P_1=5, 7\text{kg/mm}^2$, 업셋압력 $P_2=12, 14\text{kg/mm}^2$, 그리고 업셋시간 $T_2=4\text{sec}$ 로 일정하게 유지하여 가열시간(T_1)을 Table 1과 같이 변화시키면서 마찰용접을 수행하였으며, 이에 병행하여 AE량을 측정하였다.

3. 결과 및 고찰

3-1 W-Cu와 동과의 마찰용접 접합특성

본 실험에서 W-Cu와 C1100과의 마찰용접을 위해 회전수, 마찰가열압력, 마찰가열시간 및 업셋시간을 Table 1과 같이 여러 조건에서 수행하여 이들간의 접합기구를 확인하였다.

Table 1 Welding conditions for Friction welding of W-Cu bar to C1100 bar

Total condition No.	Welding condition case number	Materials for friction welding of bar to bar	Rotating speed n (rpm)	Heating pressure P_1 (kg/mm^2)	Upsetting pressure P_2 (kg/mm^2)	Heating time T_1 (sec)	Upsetting time T_2 (sec)
1	1	W-Cu to Cu	2,000	5	12	0.5	4
	2					1	
	3					1.25	
	4					1.5	
	5					2	
	6					2.4	
2	7	W-Cu to Cu	2,000	7	14	0.25	4
	8					0.4	
	9					0.5	
	10					0.6	
	11					0.75	
	12					1	

마찰용접의 결과 Cu가 W-Cu 속으로 확산되어 들어간 깊이는 W-Cu속에 Cu가 포함되어 있으므로 정확한 것은 알 수가 없으나 인장시험한 결과 파단은 모재파단이 아닌 압접면 근방인 터프피치 동 Cu측 HAZ(heat affected zone)에서 파단되는 것을 보면 용접계면(weld interface)의 강도가 HAZ부 보다 높다는 것을 알 수 있다.

3-2 마찰용접과 AE시험 특성 및 상관성

전력용 차단기의 접점재료로 이용되는 W-Cu와 동과의 마찰용접에서 소성변형 중에 발생된 AE량이 용접품질에 어떤 상관성이 있는지를 T_1 을 매개변수로 하여 AE량을 검출하였다.

회전수 2,000rpm일 때 마찰가열시간 T_1 의 변화에 따른 총 AE량과의 상관관계를 나타낸 것은 Fig.1과 같다. $P_1=5, P_2=12\text{kg/mm}^2$ (조건 No.1)일 때 T_1 을 0.5~2.4sec로 변화시켜 실험했을 때 누적 AE count량도 역시 증가함을 알 수 있다. $P_1=7, P_2=14\text{kg/mm}^2$ (조건 No.2)일 때 T_1 을 0.25~0.75sec로 변화시키면 누적 AE count량은 증가하고 있으며, $T_1=0.75\text{sec}$ 일 때부터 급격히 증가한다.

Fig.2는 용접완료시 측정된 누적 AE량이 마찰용접 인장강도에 어떻게 영향을 미치는가를 나타낸다. 조건 No.2의 경우 AE총량이 증가함에 따라서 용접부 인장강도도 증가함을 나타내며, 60,000count일 때는 오히려 인장강도도 떨어짐을 알 수 있다. 조건 No.1의 경우도 전자의 경우보다 N과 σ 가 다소 낮으나 비슷한 경향을 나타내고 있다.

이들 σ (kg/mm^2)와 N(counts)간의 상관관계에 대해 전산화된 식은 다음과 같다.

$$P_1=5, P_2=12\text{kg/mm}^2 \text{ (Condition No.1)} : \sigma = -119.95 + 13.23 (\ln N) \quad (1)$$

$$P_1=7, P_2=14\text{kg/mm}^2 \text{ (Condition No.2)} : \sigma = -140.35 + 14.62 (\ln N) \quad (2)$$

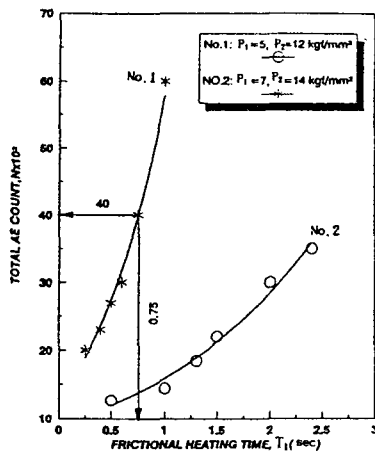


Fig.1 N-T₁ in Friction Welding

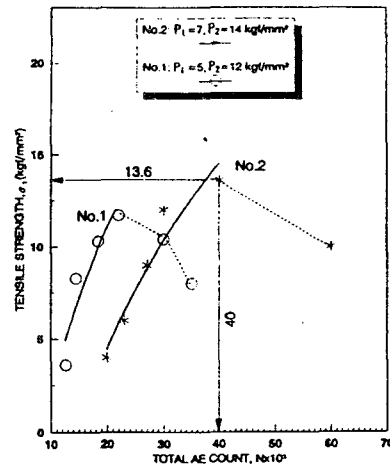


Fig.2 σ -T-N in Friction Welding

식(1)과 (2), Fig.2에서 알 수 있듯이 용접시작에서부터 용접종료까지의 총AE량을 용접종료와 동시에 AE시험기로 측정하여, 실시간에 마찰용접제의 용접부 인장강도를 비파괴평가할 수 있다.

3-3 마찰가열시간과 총열셋량과의 상관성

W-Cu와 C1100간의 적정 마찰용접조건을 결정하기 위해 Table 1과 같이 용접했을 때 마찰가열시간 T_1 과 가열열셋 U_1 , 총열셋 U_T 와의 상관관계를 조사한 결과는 Fig.3과 같다.

3-4 마찰가열시간과 용접부 인장강도와의 상관성

Table 1의 조건에 따라 W-Cu와 C1100을 마찰용접한 결과 마찰가열시간과 접합부의 인장강도와의 상호관계는 Fig.4와 같다. Fig.4의 No.1을 보면 가열시간 1초까지는 인장강도가 선형적으로 증가하다가 1.5sec에서 11.7kg/mm^2 의 최대치를 나타낸 후 2sec, 2.4sec에서 감

소함을 알 수 있다. 이때 총업셋량은 13.1mm이었다. 이 원인은 T_1 이 과도하면 과열에 의한 소결합금 W-Cu측의 냉각시 균열발생이 주원인이 되며 flash corner의 노치효과 때문에 인장강도가 급격히 떨어진다고 생각된다.

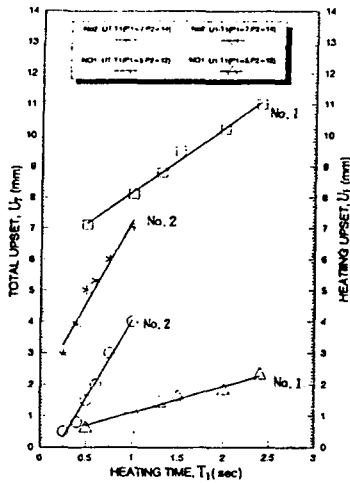


Fig.3 U_t, U_h-T_1 in Friction Welding

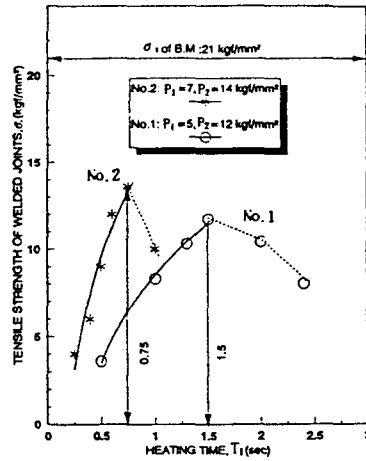


Fig.4 $\sigma-T_1$ for the welded joints

3-5 마찰가열시간과 항절강도와의 상관성

Table 1의 조건에 따라 W-Cu와 C1100을 마찰용접한 결과, 마찰가열시간과 용접부 항절강도와의 상관관계는 Fig.5와 같다. Fig.5에서 No.1을 보면 가열시간 0.5sec에서 2sec까지는 항절강도가 거의 일정하나 2.4sec에서는 항절강도가 감소함을 알 수 있다.

Condition No.2의 그래프에서 가열시간 0.75sec에서 최대항절강도 후 급격하게 감소함을 나타내고 있다. 이처럼 용접부 강도를 나타내는 Fig.4와 Fig.5에서 알 수 있듯이 압력과 시간을 변화시켜본 결과 가장 적절한 용접조건은 역시 Condition No.2에서 $n=2000\text{rpm}$, $P_1=7$, $P_2=14\text{kg/mm}^2$, $T_1=0.75\text{sec}$, $T_2=4\text{sec}$ 의 경우라고 생각된다.

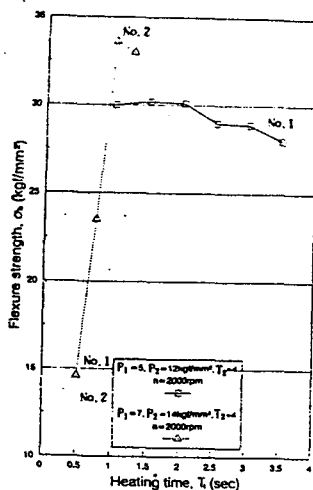
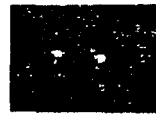
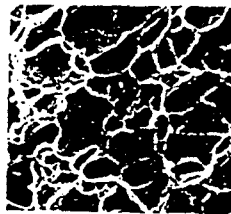


Fig.5 $\sigma-T_1$ in Friction Welding

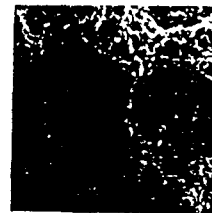
C1100 W-Cu



(a) Macroscopic tensile fracture surface



(b) Microscopic fracture surface of C1100 side by SEM



(c) Microscopic fracture surface of W-Cu side by SEM

Fig.6 Photograph of fracture surface

3-6 마찰용접의 최적화와 AE에 의한 품질의 실시간 평가에 관한 고찰

본 연구에서는 용접재료와 용접부의 품질(강도)이 마찰용접조건(특히 T_1)에 의해 영향을 받듯이, 동시에 용접중의 AE총량에 의해 영향을 받음이 확인되었고, 따라서 Fig.4에서 용접조건 No.2의 경우 $T_1=0.75\text{sec}$ 일 때 $\sigma_T=13.6\text{kg/mm}^2$ 가 최대이고, 이때 Fig.1에서 $T_1=0.75\text{sec}$ 일 때 $N=40000\text{counts}$ 이다. 동시에 Fig.2에서 $N=40000\text{counts}$ 일 때 $\sigma=13.6\text{kg/mm}^2$ 로서 이음부의 강도가 비파괴적으로 검출이 가능함이 확인되며, 또한 식(2)에서 $N=37425\text{counts}$ 일 때, $\sigma=13.6\text{kg/mm}^2$ 임이 PC에서 계산될 수 있다. 이것은 AE에 의해 용접종료와 동시에 실시간에 마찰용접부의 품질(강도)의 평가가 비파괴적으로 가능함이 입증되는 것이다.

3-7 인장 파단면 및 용접부의 미시조직 검사

Fig.6은 적정 용접조건에서 W-Cu 소결합금과 터프피치동 C1100의 마찰용접부의 인장파단면에 대한 macro사진 및 micro사진이다.

한편, W-Cu 소결합금과 터프피치 동 C1100을 마찰용접한 시험편의 경도분포는 W-Cu 소결합금측은 용접면으로 부터 약 1mm 떨어진 부근까지 W-Cu 모재의 경도치보다 다소 증가되었다. 이는 마찰열에 의한 고온변형으로 W입자의 밀도분포가 높아져 경화된 것으로 생각된다.

4. 결 론

중전기용 접점인 W-Cu 소결합금과 터프피치동 C1100의 마찰 용접 시험과 마찰용접의 적정화를 규명하고, AE에 의한 실시간 품질평가 개발을 위한 연구결과는 다음과 같다.

1. 중전기용 접점 W-Cu와 C1100의 인장 시험결과 용접계면 파단이 아닌 압접면 금방의 C1100모재측 열영향부에서 파단되었다.
2. AE량과 마찰용접 인장강도와의 상관성은 회전수 $n=2000\text{rpm}$, $P_1=7$, $P_2=14\text{kg/mm}^2$ 인 경우와 $P_1=5$, $P_2=12\text{kg/mm}^2$ 의 경우 최소자승법을 이용하여 전산화된 식을 구하였다.
3. 실험에 사용된 W-Cu와 C1100의 마찰용접 적정조건은 $n=2000\text{rpm}$, $P_1=7$, $P_2=14\text{kg/mm}^2$, $T_1=0.75$, $T_2=4\text{sec}$ 임이 실험적으로 확인되었다.
4. AE법에 의하여 W-Cu 소결합금과 C1100터프피치동의 마찰용접부 품질(강도)을 용접 실시간에 비파괴적으로 평가 가능함이 확인되었다.

5. 참고문헌

- 1) 한국전기연구소(1986 I,II) : Research and Development of special contacts for Heavy Electrical Machinery P.8-9, P.50-85
- 2) 부산수산대학교(1993) : Development of Hydraulic or pneumatic valve spool by Friction welding study on Real-Time Evaluation of the Automatic welding Quality control P.67-87
- 3) Oh,S.K.(1983) : Effects of initial AE counts during plastic deformation in friction welding of dissimilar steel tubes on the weld quality control, 대한기계학회지, 제1호, P.70-73
- 4) 吳世奎(1982) : 어쿠우스틱 에뎃션法에 의한 摩擦鎔接強度解析(2), 대한기계학회지, 22(3), P.184-190