

# GMA용접에서 용접와이어와 콘택트팁의 재질이 마모에 미치는 영향

김남훈\*, 고진현\*, 황용화\*\*  
\*한국기술교육대학교 신소재공학과  
\*\*한국원자력연구소 조사시험부  
e-mail:jhkoh@kut.ac.kr

## Effect of Welding wires on the Contact tip Wear during GMA Welding

Nam-Hoon Kim\*, Jin-Hyun Koh\* Yong-Hwa Hwang\*\*

\*Department of Materials Engineering, Korea University of Technology & Education

\*\*PIE & Radwaste Division, Korea Atomic Energy Research Institute

### Abstract

The effect of welding material such as welding wires and materials for contact tip on the contact tip wear was investigated. Two types welding wires such as solid and flux cored wire and a variety of contact tips made of Cu-P, Cu-Cr(0.25%), Cu-Cr(1%) and Cu-Cr-Zr were employed for the comparison of wear resistance. It was found that the wear resistance of contact tips materials was Cu-Cr-Zr, Cu-Cr(1%), Cu-Cr(0.25%), Cu-P in order while the solid wire had a better wear resistance than flux cored wire.

### 1. 서론

와이어를 용가재로 사용하는 가스메탈아크(gas metal arc, 이하 GMA이라고 함)용접에서는 용접와이어가 일정속도로 송급되어 와이어 선단에서 용융되어 용융풀로 이동한다. 와이어를 용융시키는 열은 용접전류에 의해 발생하는 용접아크의 열과 와이어 자체에서 발생하는 저항열로부터 제공된다. GMA용접이 안정적으로 진행되기 위해서는 와이어 용융속도가 와이어 송급속도와 일치하여야 하며, 이러한 상황이 되도록 와이어에 용접전류가 적절히 공급되어야 한다. 용접전류는 용접전원으로부터 공급되어 용접토치의 최선단에 위치한 콘택트팁(contact tip)을 통하여 와이어에 전달된다. 따라서 콘택트팁은 '와이어를 용융풀로 유도하는 역할'과 '용접전류를 와이어에 전송하는 역할'을 담당하게 된다<sup>1~2)</sup>. 그런데 콘택트팁을 장시간 사용하게 되면 이러한 기능을 적절히 수행하지 못하게 되고 궁극적으로는 팁을 교환하게 되는데, 이러한 교환주기를 수명(life time)이라고 한다. 콘택트팁이 손상되어 이러한 기능들을 제대로 수행하지 못하면 용접결함을 유발하게 되며, 결함제거 및 팁 교체등으로 생산성을 저하시키는 원인이 된다<sup>3~6)</sup>. 현재까지 콘택트팁의 손상기구에 대해

서는 크게 두 가지가 보고되고 있다. 첫 번째 손상기구는 전기적으로손(electric erosion)에 의한 것으로 와이어와 콘택트팁이 접촉되는 팁 선단에서 미세한 아크가 발생하여 팁 표면의 일부가 용융되어 와이어 표면에 용착되는 현상이다. 두 번째는 손상기구는 접촉된 두 개의 면이 미끄러지면서 단단한 면상의 요철이나 경질입자의 절삭작용에 의해 일어나는 마찰마모(abrasive wear)현상이다<sup>7~8)</sup>. 용접 중에서 콘택트팁의 손상은 아크열에 의해 노출되어 가열되기 때문에 고온마찰마모라고 하는 것이 합리적이다. 현재 콘택트팁의 신뢰성 기준이 RS D 규격<sup>9)</sup>으로 마련되어 있지만, 아직까지 자체규격을 많이 사용하고 있는 실정이다. 이에 본 연구에서는 박판에 사용되어지는 솔리드와이어와 후판에 주로 사용되어지는 플럭스와이어를 대상으로 콘택트팁의 재질에 따른 내마성 시험에 대해서 연구하였다.

### 2. 실험재료 및 방법

본 실험은 신뢰성 기준인 RS D에 따라 콘택트팁의 용접마모 시험을 하였으며, 장시간 용접을 위해 파이프 연속용접을 실시하는 것으로 하였다. 용접을 하는 동안에 콘택트팁 선단에 스패터가 부착하여 용

접이 중단되는 상황을 최소화하기 위하여 스패터 발생이 가장 작은 용접기법 및 용접조건을 표1과 같이 적용하였다. 용접방법으로써는 아르곤+산소(2%)를 보호가스로 하는 가스메탈 아크 용접법을 선택하였으며, 용접전류는 스프레이 이행 조건을 선택하여 스패터 발생을 최소화 하였다. 와이어의 직경은 가장 보편적으로 사용하는 1.2mm로 하였고 용접은 1시간씩 연속용접을 실시하는 것으로 하였다. 현장에서는 한번의 용접이 1분 이내에 끝나는 경우도 있지만, 이러한 상황을 재연하기에는 장시간이 소요되어 연속용접을 하게 된 것이다.

[Table 1] Welding conditions applied in this study.

Welding condition	
Welding voltage	250A
welding current	30V
Wire Feeding Rate (WFR)	9m/min
Contact tip-to Work distance (CTWD)	20mm
Travel speed	50cm/min
Shield gas	Ar(98%)+O2(2%)
Welding base metal	High strength pipe 200(R)×1000(L)×20(mmt)

2.1 용접재료

GMA용접에서 사용하는 와이어는 크게 솔리드와이어와 플럭스코어드와이어로 분류할 수 있다. 이들은 각각 세분되어, (i) 솔리드와이어는 와이어 표면에 구리가 도금된 와이어와 구리가 도금되지 않은 와이어로 구분되며, (ii) 플럭스코어드와이어는 베이킹(baking)처리를 한 베이킹형과 베이킹 처리를 하지않은 논베이킹(non-baking)형으로 구분된다. 실제 용접을 통하여 콘택트팁의 재질별 내마모성을 관찰하기 위해 솔리드와이어(AWS규격:ER70S-G)과 플럭스코어드와이어(AWS규격:E71T-1)에 대하여 용접재료에 따라 용접을 수행하였다.

2.2 콘택트팁

본 실험에서는 현재 가장 많이 적용되고 있는 국산 인탈산동Cu-P, 크롬동Cu-Cr, 지르코늄동Cu-Zr 콘택트팁에 대하여 표2와 같이 가공형화형, 가공형화화 및 석출경화가 동시에 이루어지는형 그리고 가공형화화 및 석출경화가 동시에 이루어지지만 크롬(Cr)이 고용한계점 이상으로 첨가되어 고용강화가까지 이루어진형으로 구분하였으며, 초기제품에 대한 경도치

를 표2에 나타내었다.

[Table 2] Strengthening mechanisms and hardness of Contact Tips.

Hardening mechanisms	Materials	Hardness (Hv)
W.H	Pure Cu	61
	Cu-P	63
W.H+P.H	Cu-Cr(0.2~3%)	65
W.H+P.H+S.S.H	Cu-Cr(1%)	78
	Cu-Cr-Zr	85

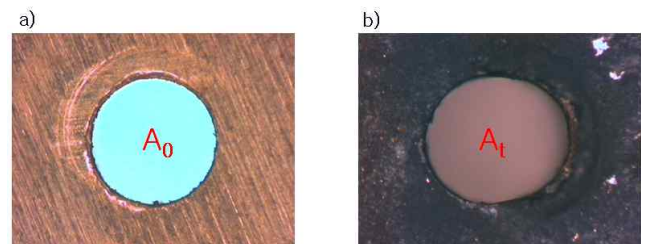
W.H : Work-hardening, P.H : Precipitation hardening, S.S.H : Solid solution hardening

2.1 마모량 측정 방법

용접된 콘택트팁의 마모량(W%)은 공구현미경으로 측정하였는데 용접 전 출구측 구멍의 면적(A<sub>0</sub>)과 용접 후 출구측 면적(A<sub>t</sub>)의 비로 계산하였다. 본 실험에서는 마모량(Amount of wear, W)을 식 (1)과 같이 홀의 증가된 면적(A<sub>t</sub>-A<sub>0</sub>)을 초기면적(A<sub>0</sub>)으로 나누어 백분율로 표현했다. Fig. 1은 콘택트팁의 출구측 구멍의 형상으로 (a)는 용접 전 무마모 상태이고, (b)는 45%이상 마모 후의 상태이다.

$$W(\%) = \frac{A_t - A_0}{A_0} \times 100 \dots\dots\dots(1)$$

용접된 콘택트팁의 마모량을 측정하기 위해 공구현미경을 사용하여 Fig.1 a)에서 보듯이 홀의 정확한 크기를 측정하고 출구면의 면적비로 측정하였다.



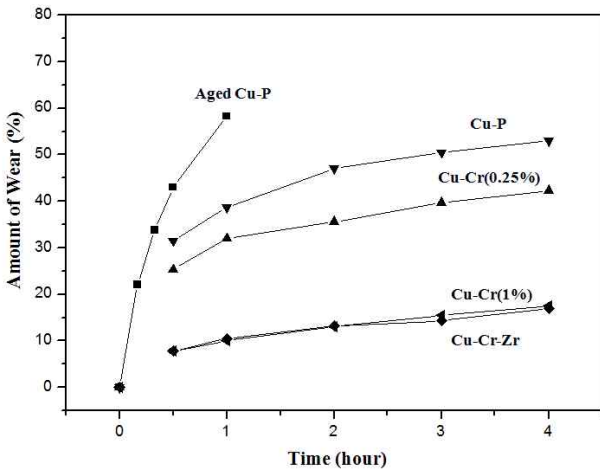
[Fig.1] Contact Tip shape of the outer hole : a) before use, (b) after use

Fig.1 b)는 용접후의 콘택트팁이며, 장시간 연속용접시 용접이 중단되는 번백(burn-back)현상 방지를 위해 일정시간 용접후 측정하는 방법으로 하였다. 그리고 그림1. b)의 홀의 가장자리에 뜯겨져 나간 부위까지도 마모되는 것으로 측정범위에 포함시켰다.

### 3. 실험결과

#### 3.1 콘택트팁 재질에 따른 마모량

Fig.2은 상용화된 인탈산동Cu-P, 저크롬동 Cu-Cr(0.25%), 고크롬동Cu-Cr(1%), 지르코늄동 Cu-Cr-Zr콘택트팁과 상용화된 콘택트팁을 열처리를 하여 가공경화의 효과가 없는 인탈산동Cu-P, 열처리를 하여 석출경화의 효과를 극대화시킨 크롬동 Cu-Cr(0.25%)으로 구분하여 솔리드 와이어로 용접을 수행하여 나온 결과이다.

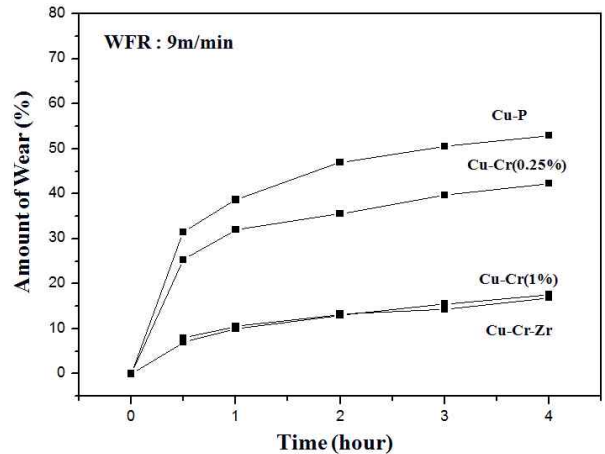


[Fig. 2] Amount of wear for materials of contact tips

열처리 후 가공경화의 효과가 없는 인탈산동Cu-P 팁은 용접이 시작되어 30분도 채 안되어 콘택트팁의 수명이 다 된 것으로 나왔으며, 가공경화가 되어 있는 인탈산동Cu-P팁은 2시간 정도가 지나면서 마모가 45%가까이 되는 것을 확인할 수 있었으며, 이는 가공경화가 된 재료가 회복 및 재결정(recovery and recrystallization)되면서 나타나는 현상임을 유추할 수 있다. 0.25%크롬팁은 크롬의 석출의 효과로 가공경화가 소멸되더라도 내마모성이 좋은것을 알 수 있었다. 구리에 크롬이 고용될 수 있는1%크롬동팁과 지르코늄팁은 가공경화와 석출경화 그리고 고용강화의 효과를 갖추고 있다. 1%크롬동은 크롬의 최대용량인 0.89%이상을 함유하고 있어 내마모 저항성이 높은 것으로 나왔다. 강화기구가 콘택트팁의 내마모성에 큰 영향을 미치는 것을 알 수 있었으며, 가공경화형, 가공형화+석출경화형 그리고 가공경화+석출경화+고용강화의 순으로 내마모성 저항성이 크다는 것을 알 수 있었다.

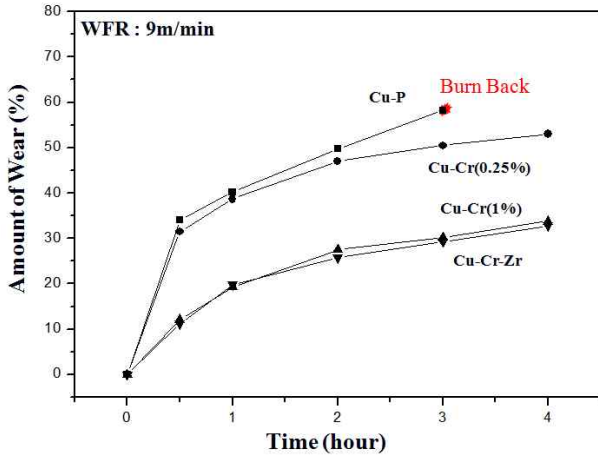
#### 3.2 용접재료에 따른 콘택트팁 재질별 마모량

일반적인 콘택트팁을 4가지를 대상으로 하여 용접 재료 두가지에 따라 콘택트팁의 재질별로 내마모성 실험을 하였으며, 그 결과를 Fig. 3과 Fig. 4에 나타내었다. Fig. 3은 콘택트팁의 재질에 따라 솔리드 와이어로 용접한 결과이다. Fig.3에서 보듯이 가공경화형과 저크롬이 함유되어 석출경화와 가공경화가 동시에 발생한 콘택트팁은 비교적 마모가 빠른 편이었지만, 고용한계 이상으로 크롬이 함유된 고크롬 콘택트팁과 지르코늄이 함유된 콘택트팁은 내마모에 대한 저항성이 아주 뛰어나며 2배 이상의 내마모 저항성이 큰 것을 알 수 있다.



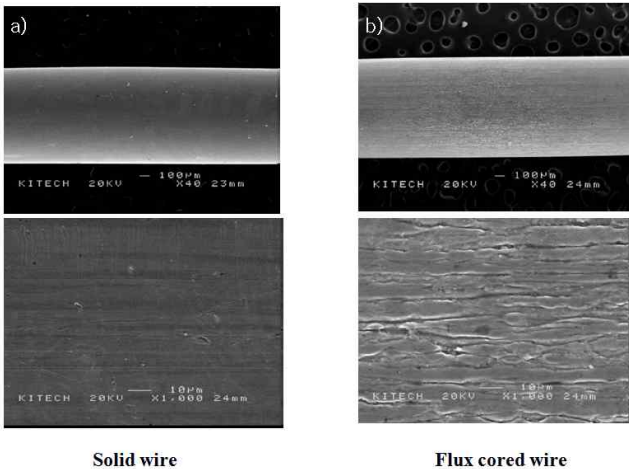
[Fig. 3] Amount of wear for materials of contact tips after welding with solid wire

Fig. 4는 Fig. 3과 같은 재질 같은 조건에서 용접 재료만 플럭스코어드와이어로 용접했을때 콘택트팁들의 마모량에 대해서 나타낸 그래프이다. 솔리드와이어와 마찬가지로 경향이 보였지만, 마모량 차이에서 현저히 차이가 나는 것을 알 수 있다. 특히, 가공경화의 특성만 지니고 있는 Cu-P콘택트팁은 마모량이 50%이상넘어가면서 번백(burn-back)현상이 나오는 것을 볼 수 있었다. 이러한 결과는 ‘콘택트팁의 마모가 심하면 번백현상을 유도 할 수 있다<sup>10)</sup>’고 발표된 사례들을 증명할 수 있는 결과이다. 그리고 전반적으로 플럭스코어드와이어가 솔리드와이어보다 10~15%이상 마모량이 더 높은 것을 관찰 할 수 있었으며, 플럭스코어드 와이어가 솔리드 와이어에 비해 표면이 많이 거칠기 때문이라 할 수 있다.



[Fig. 4] Amount of wear for materials of contact tips after welding with flux cored wire

Fig. 5는 솔리드 와이어와 플럭스코어드와이어의 표면상태를 주사현미경(SEM)으로 관찰한 것이다. Fig b)의 플럭스코어드와이어 표면이 Fig a)의 솔리드와이어의 표면보다 더 거친 것을 육안으로도 확인할 수 있었다.



[Fig. 5] Surfaces of GMA welding wires : a) solid wire, b) flux cored wire

### 3. 결론

GMA용접에서 용접와이어별로 콘택트팁 재질에 따라 콘택트팁의 마모에 미치는 영향에 대해 연구한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- 1) Cr이 고용한계 이상으로 함유된 콘택트팁과 지르코늄 콘택트팁은 내마모 저항성에 대해 가장 높은 효과를 나타낸다.
- 2) 솔리드와이어에 비해 플럭스코어드와이어가 10%~15%이상 콘택트팁의 마모를 가속화 시

킨다.

3) 콘택트팁은 60%이상 마모가 되면 용접와이어와 콘택트팁이 달라붙어 용접이 중단되는 번백현상이 발생한다.

### 참고문헌

- [1] H. J. Kim N. H. Kim, H. S. Kim, and J. H. Koh: Reliability of Contact Tip for Gas Metal Arc Welding, Journal of KWS, 21-7(2003) 9-17 (in Korean).
- [2] N. H. Kim, J. H. Kim, H. J. Kim, H. S. Kim, and J. H. Koh: Variation of Microstructure and Hardness of Contact Tips during GMA Welding, Journal of KWS, 22-1(2004) 43-49 (in Korean).
- [3] N. H. Kim, J. H. Kim, H. J. Kim, H. S. Kim, and J. H. Koh: Prediction on the Wear Resistance of Contact Tips for GMA Welding, Journal of KWS, 22-4(2004) 35-42 (in Korean).
- [4] J. F. Rudy, D. C. Brown and W. G. Groth: Study of current contact tubes for gas metal arc welding. Welding Research Supplement. 8(1996). p374-378
- [5] Jin-Hyun Koh, Nam-Hoon KimHwan-Tea Kim, Yong-Hwa Hwang : Effect of the Wear of Contact Tips on the Weld beads made by GMAW Process (In Proceeding)
- [6] The contact-tube distance in a gas-shielded metal-arc welding - How does it work?, Welding and Cutting, 2(2002), 80
- [7] G. Adam, T. A. Siewert, T. P. Quinn and D. P. Vigliotti: Contact tube temperature during GMAW, Welding Journal, 80(2001), 37
- [8] J. Villafuerte: Understanding contact tip longevity for gas metal arc welding, Welding Journal, 78, 12(1999), 29
- [9] RS D 0031: Contact Tip for Gas Metal Arc Welding. 2004(in korean)
- [10] J. F. rudy, D. C. Brown, W. G. Groth: Study of current contact tubes for gas metal-arc welding, Welding Journal, 45(1966), 375s