

가스메탈아크용접에서 콘택트팁의 마모에 미치는 용접재료의 영향

김인규*

(Manuscript received: Jul, 17, 2012 / Revised: Sep, 11, 2012 / Accepted: Sep, 12, 2012)

Effect of wear of Contact Tips to Welding Consumable for Gas Metal Arc Welding

In-Gyu Kim*

Abstract

The contact tip is higher the wear of resistance and the longer life are demanded to GMA welding process. In this study, four different contact tips with three different compositions by two wires were evaluated their wear resistance by measuring in every one hour the area of enlarged hole at the exit side during actual welding. Experimental results clearly showed that the Cr-containing tips strengthened by precipitation hardening have much better resistance to wear than those made by work hardening. In addition, flux cored wire is excellent abrasion resistance test results showed. Based on these results, the domestic industry, the life of the contact tip to know will be used as basic data.

Key Words : Contact tip(콘택트팁), Solid wire(솔리드와이어), Flux cored wire(플럭스코어드와이어), Wear(마모), Welding wave (용접파형)

1. 서론

가스메탈아크용접(gas metal arc welding, 이하 ‘GMA용접’이라고 함)은 기본적으로 용가재로서 작용하는 소모전극 와이어를 일정한 속도로 용융지에 송급하면서 전류를 통하여 와이어와 모재사이에서 아크가 발생되도록 하는 용접법이다. GMA 용접에서 용접아크가 일정하게 진행되기 위해서는 용접와이어가 공급되는 속도와 와이어가 용융지에 용융되는 속도가 균일하여야 하며, 와이어에 안정된 전류를 공급하여 송급된 와이어가 동일한 속도로 용융되도록 하여야 한다^(1~3). 용접전류는 용접전원에서 용접 토치 끝단부에 위치한 콘택트팁을 통해 와이어로 전송되어지기 때문에 콘택트팁은 전기전도도가 우수한 재질인 순수 구리(Pure-Cu) 또는 P, Cr, Zr 등이 함유된 구리합금(Cu alloy)이 사용되고 있다. 안정된 용접을 하기 위하여

다양한 재질의 콘택트팁이 사용되고 있지만 콘택트팁의 주된 기능은 용접와이어에 용접전류를 전송하는 기능과 용융지르 와이어를 유도하는 기능이다⁽⁴⁻⁶⁾. GMA용접에서 사용하는 와이어는 크게 두가지로 구분되는데 솔리드와이어와 플럭스코어드와이어로 분류된다. 이들은 콘택트팁의 마모량에 있어 큰 차이를 보여 줄 것으로 예상되는데 그 이유는 와이어의 표면 상태가 크게 차이가 나기 때문이다. 콘택트팁의 마모량이 가장적일 것으로 예상되어지는 와이어는 솔리드와이어인데 이는 와이어의 표면에 구리가 도금이 되어 있기 때문이다. 다른 와이어는 와이어의 표면상태 및 운할재의 성능에 따라 커다란 차이를 보여 줄 것으로 예상된다⁽⁷⁻⁹⁾. 그러나 현재까지 콘택트 팁 마모에 미치는 영향에 대해 보고한 실험결과는 몇 편 찾아 볼 수 없었다. 본 연구에서는 국내에서 가장 많이 사용되고 있는 용접재료인 (도금형)솔리드 와이어와 (베이킹형)플럭스코어드 와이어를

* 한국폴리텍4대학 아산캠퍼스 산업설비자동화과
주소: 139-743 충남 아산시 신창면 행목리 323

✉ Corresponding Author E-mail: sepiacar@kopo.ac.kr

이용하여 네가지 조성에 대해 GMA용접에서 콘택트팁의 마모에 미치는 용접재료의 대해 영향을 보고 하고자 하였다.

2. 실험방법

본 실험에서 사용된 장치는 Fig. 1과 같이 일반 선반을 개조해서 자체 제작한 것이며, 사용된 용접전원은 500A급 인버터 제어형이다. 용접모재는 200(R)×1,000(L)×15(mm(t))크기의 고강도 파이프를 사용하여 연속용접이 가능하게 하였으며, 파이프를 회전시키면서 파이프 표면에 아래보기 용접을 장시간 실시할 수 있도록 제조하였다. 장시간 용접으로 인하여 파이프가 과열되어 변형되는 것을 방지하기 위하여 파이프 내부 하단에는 항상 냉각수가 고여 있도록 하였으며, 파이프 회전속도(travel speed)는 40cm/min으로 일정하게 하였다. 용접조건은 Table 1과 같으며, 보호가스는 장시간 용접시 스파터가 다량 발생하여 용접불안을 문제를 감소시키기 위해 Ar+CO₂(80%+20%) 혼합가스로 하였다. 용접전류, 용접전압 그리고 저항의 순간적인 변화는 파형 측정 장치를 이용하여 20kHz의 샘플링 속도로 10초동안 측정하고 컴퓨터에 저장하였다.

2.1 용접재료

GMA용접에서 사용되는 와이어는 크게 두 가지로 나눌 수 있으며, 솔리드와이어와 플렉스코어드와이어로 대별된다. 이들 용접와이어를 구분하면, 솔리드와이어는 와이어 표면에 구리가 도금된 솔리드와이어와 구리가 도금되지 않은 무도금 솔

Table 1 Welding conditions applied in this study

Welding voltage	30 V
Welding current	250 A
Wire feeding rate	9m/min
Contact tip-to-Work distance (CTWD)	20mm
Travel speed	40cm/min

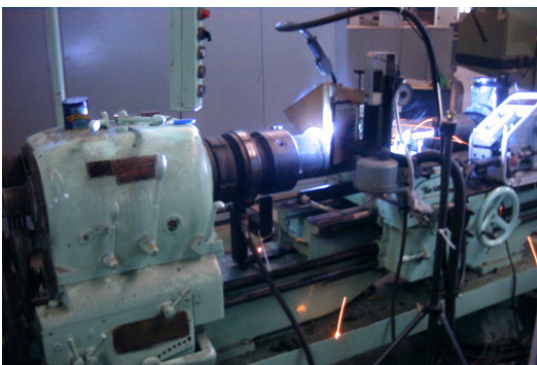


Fig. 1 Experimental setup of GMA welding for the wear resistance of contact tip

리드와이어로 세분되며, 플렉스코어드와이어는 베이킹(baking)처리를 한 베이킹형과 베이킹처리를 하지 않은 논베이킹(non-baking)형으로 세분된다. 실제 실험에 사용된 용접 재료는 구리가 도금된 솔리드 와이어와 베이킹처리를 한 플렉스 코어드 와이어에 대하여 각각 실험을 하였으며, 용접와이어의 소모로 인하여 용접이 중단되는 상황을 만들지 않게 하기 위해 패일팩(pail pack)으로 되어 있는 300kg급의 와이어를 사용하였다.

2.2 콘택트팁

본 실험에 사용되어진 콘택트팁의 종류 및 화학조성을 Table 2에 나타내었다. 일반적으로 사용되어지는 인탈산동팁은 최종생산단계에서 냉간 인발공정으로 가공하여 가공경화의 효과를 크게 하여 제조되어지며, 이는 인(P)을 0.016% 함유하고 있고 시중에서 구매한 팁을 그대로 사용하여 실험하였으며, 이를 Table 2에서는 Cu-P이라고 표기하였다. 또한 시중에서 구매한 팁 중에서 0.25%정도의 크롬(Cr)을 함유한 재질의 팁을 Table 2에서는 Cu-0.25%Cr이라고 표기하였다. 1%크롬동팁은 시중에서 구매한 상태 그대로 사용하였는데, Table 2에서는 Cu-1%Cr이라고 표현하였다. Fig. 2는 구리와 크롬의 상태도인데, 일반적으로 구

Table 2 characteristics of contact tips used in this study

Identification	Chemical composition(wt.%)			Characteristics
	P	Cr	Zr	
Cu-P	0.016	-		strain hardened
Cu-0.25%Cr	-	0.20~0.35		overaged + strain hardened
Cu-1%Cr		0.8~1.0		aged + eutectic Cr ppt.
Cu-Cr-Zr		0.4~1.0	0.08~0.2	aged + eutectic Cr ppt.

*** strain hardened : 가공경화, overaged : 과시효, aged : 시효, eutectic Cr ppt. : 공정 크롬 석출경화

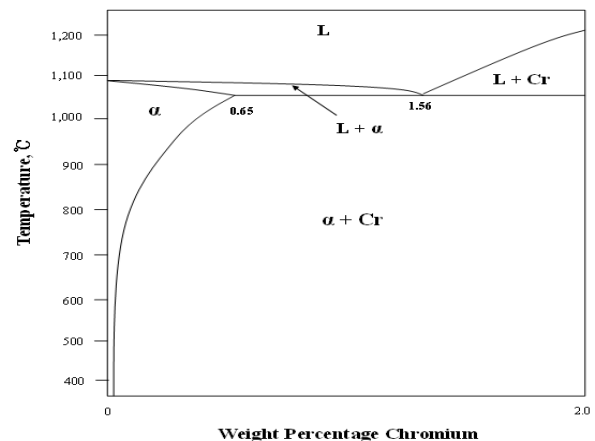


Fig. 2 Cu-Cr phase diagram⁽¹⁰⁾

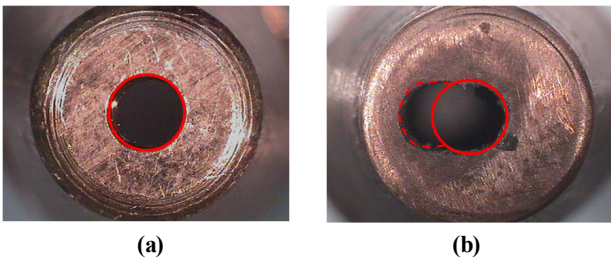


Fig. 3 Wear of contact tip : a) area of exit hole before welding, b) area of worn-out hole after 't' hour welding

리에 크롬의 고용량은 0.65%이다. 1%크롬동팁은 석출경화형으로 처리되어 있었을 뿐만 아니라 공정반응(eutectic reaction)으로 석출된 조대한 크롬(Cr)입자를 함유하고 있을것으로 판단되어진다. 그러므로 1%크롬동팁은 이러한 정출물이 팁의 마모량에 미치는 영향을 평가하는데 중요한 재료라 하겠다. 마지막으로 Cu-Cr-Zr팁은 시중에서 구매한 상태 그대로를 사용하였으며, Table 2에서는 Cu-Cr-Zr이라고 표현하였다.

2.3 마모량 측정방법

본 실험에서는 마모된 부위의 면적을 측정하여 이를 초기 면적으로 나눈값을 팁 마모량(amount of wear, W)이라고 정의하였다.

마모량을 식 (1)과 같이 구멍의 초기 면적(A_0) 대비 용접 후 증가된 면적($A_t - A_0$)을 백분율로 표현하였다. 여기서 A_0 는 용접 전의 구멍 면적이며, A_t 는 t 시간 용접한 후에 마모된 구멍의 면적이다. 또한 면적의 측정은 공구현미경을 사용하였으며, 초기 측정은 30분 용접 후에 하였으며, 그 이후는 1시간을 기준으로 하여 용접 후에 면적을 측정하였다. Fig. 3은 콘택트팁의 마모전과 마모 후의 이미지를 나타내는 그림이며, 마모부위를 표시하였다.

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

3. 실험결과

3.1 콘택트팁의 마모량

솔리드와이어를 사용하여 용접 마모시험을 네가지 조성을 가진 콘택트팁에 대해 시험을 실시한 결과를 Fig. 4에 나타내었다. 네가지 팁은 크게 가공경화형과 석출경화형으로 분류할 수 있다. 인탈산동팁과 0.25%크롬동팁은 초기에 급격한 마모를 보여 주고 있으며, 특히 인탈산동팁은 1시간 이내에 약 40% 정도의 마모량을 보여 주었다. 이것은 인탈산동 콘택트팁이 용접 후 1시간 이내에 용접열에 의해 가공경화의 효과가 소멸되어 그에 따른 내마모성 저하 때문이라고 할 수 있다. 0.25%크롬동팁은 인탈산동팁의 마모량과 유사한 경향을 보여 주었으나 내

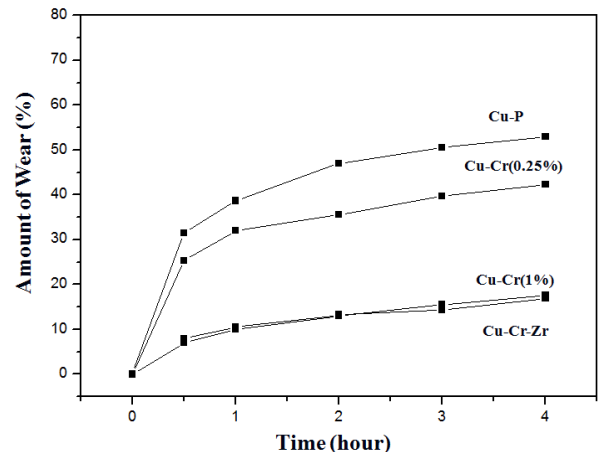


Fig. 4 Amount of wear of contact tips according to welding time used solid wire

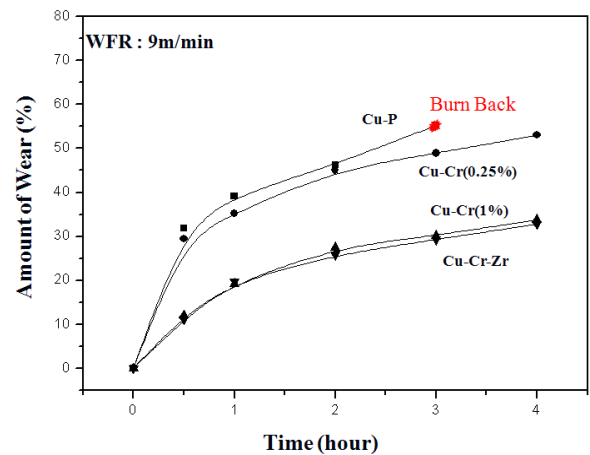


Fig. 5 Amount of wear of contact tips according to welding time used flux cored wire

마모성에 있어서는 다소 향상된 경향을 보여 주었다. 이러한 사실은 용접열에 의해 가공경화의 효과가 소멸되었지만, 과시효에 의해 석출된 크롬 입자가 내마모성 향상에 어느 정도 기여하고 있음을 유추할 수 있다. 한편, 1%크롬동팁은 공정반응에서 생성된 크롬 정출물과 용접 중 진행된 추가 시효에 의해 고온에서의 내마모성 크게 향상되었기 때문이라고 판단되어진다. 마지막으로 Cu-Cr-0.02%Zr팁 역시 크롬과 지르코늄이 시효처리에 의해 내마모성이 크게 향상된 것이라 판단 되어진다.

Fig. 5는 콘택트팁별로 플럭스코어드와이어를 사용하여 용접마모 시험을 한 결과이다. 인탈산동팁은 3시간이 지나면서 급격한 마모로 인하여 더 이상 용접이 진행될 수 없는 번백(burn back)현상이 나타났다. 이는 콘택트팁이 크게 마모되어 수명에 다다르게 되면 아크 불안을 야기하면서 와이어와 콘택트팁이 용착이 되는 현상을 가져오는 역할을 한다는 것을 알 수 있다. 나머지 팁들은 솔리드와이어와 유사한 경향을 보여 주었으며 마모량은 20%이상 높게 나타내었다.

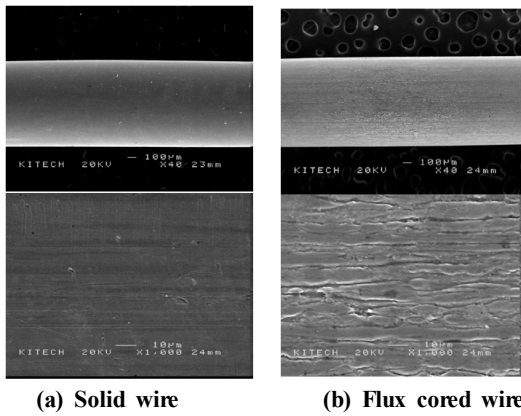


Fig. 6 Scanning electron microscope observation of welding wire surface. a) solid wire, b) flux cored wire

3.2 와이어 표면

Fig. 6은 전자현미경을 이용하여 두가지 용접재료에 대해 표면 사진을 찍은 결과이다. a)는 솔리드와이어의 표면을 찍은 사진인데, 인발공정을 통하여 제조되어 표면이 비교적 매끄럽게 형성된것을 볼 수 있다. b)는 플럭스코어드와이어이며 표면이 솔리드와이어에 비해 매우 거친 것을 알 수 있다. 솔리드와이어로 용접했을 때 보다 플럭스코어드와이어로 용접했을 때 마모가 더 심한것은 플럭스코어드 와이어의 표면이 더욱 거칠기 때문이라는 것을 유추 할 수 있었다. 가장 많이 쓰이는 인탈산 동팁이 수명이 다되어 용접 중 번백(burn-back)현상이 나타난 것도 와이어 표면이 중요한 역할을 했다는 것으로 판단 할 수 있었다.

3.3 용접파형

Fig. 7은 모니터링 장비를 이용하여 콘택트팁이 마모되기 전에 용접전압, 용접전류, 용접저항을 측정 한 것이다. 용접전압, 용접전류, 용접저항등이 균일하게 진행되는 것을 볼 수 있으며, 전형적인 스프레이 모드라는 것을 알 수 있다.

Fig. 8은 모니터링 장비를 이용하여 콘택트팁이 마모된 후에 용접전압, 용접전류, 용접저항을 측정 한 것이다. 파형은 전형적인 스프레이 모드를 나타내고 있지만 용접전류와 용접저항이 크게 변화되는 것을 볼 수 있다. 이는 콘택트팁이 마모되면서 콘택트팁과 용접와이어와의 접촉지점이 변화된다는 것을 유추 할 수 있다. 용접와이어와 콘택트팁과의 접촉지점이 변화하게 되면 콘택트팁의 중요 역할중의 하나인 일정하게 전류를 공급 할 수 없는 현상이 발생하게 된다. 전류가 일정하지 않으면 용접 중 아크가 불안해 지며, 번백과 같은 현상이 발생하게 되는 조건을 만드는 분위기가 된다. 특히 플럭스코어드와이어의 표면 상태는 솔리드와이어의 표면상태보다 더 좋지않기 때문에 마모가 진행될수록 용접시 아크 불안이 진행되어 번백과 같은 결과가 나왔을 것으로 판단된다.

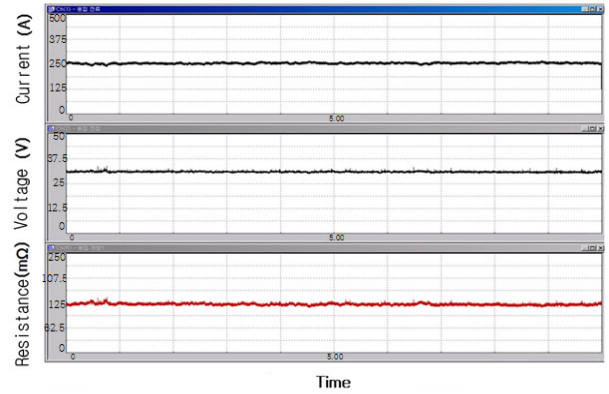


Fig. 7 Welding current, voltage, resistance according to time before contact tip wear

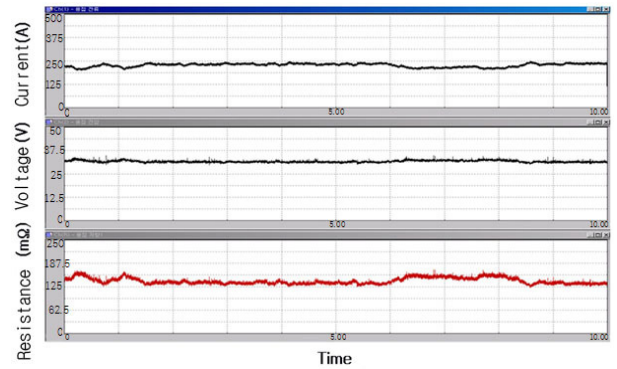


Fig. 8 Welding current, voltage, resistance according to time after contact tip wear

4. 결론

GMA용접에서 용접재료에 따른 콘택트팁의 마모정도를 용접시간에 따라 측정하고 측정된 결과를 팁의 재질에 따라 분류하고 고찰하여 보았다. 이에 다음과 같은 결론을 제시할 수 있었다.

- (1) 콘택트팁별로 실험한 결과, 내마모성이 좋은 순서로는 Cu-Cr-Zr, Cu-1%Cr, Cu-0.25%Cr, Cu-P순이라는 것을 알 수 있었다.
- (2) 용접재료에 따른 콘택트팁의 내마모성을 실험한 결과 솔리드와이어보다 플럭스코어드와이어가 마모량이 더 높은 것을 알 수 있었다.
- (3) 플럭스코어드와이어가 솔리드와이어보다 표면이 더 거친 것을 확인할 수 있었으며, 마모량이 높으면 번백현상이 발생하는 것을 관찰 할 수 있었다.
- (4) 콘택트팁이 마모되면 용접전압, 용접전류, 용접저항의 변화가 심하며 아크 불안의 원인이 되는것을 알 수 있었다.

References

- (1) Kim, H. J., Kim, N. H., Kim, H. S., and Koh, J. H., 2003, "Reliability of Contact Tip for Gas Metal Arc Welding," *Journal of KWS*, Vol. 21, No. 7, pp. 9~17.
- (2) Kim, N. H., Kim, H. J., Ryoo, H. S., and Koh, J. H., 2004, "Variation of Microstructure and Hardness of Contact Tips during GMA Welding," *Journal of KWS*, Vol. 22, No. 1, pp. 43~49.
- (3) Rudy, J. F., Brown, D. C., and Groth, W. G., 1996, "Study of Current Contact Tubes for Gas Metal Arc Welding," *Welding Research Supplement*, Vol. 8, pp. 374~378.
- (4) Yamada, T., and Tanaka, O., 1987, "Fluctuation of the Wire Feeding Rate in Gas Metal Arc Welding," *Welding Journal*, Vol. 9, pp. 35~42.
- (5) Degtyarev, V. G., Novikov, M. P., and Voropal, N. M., 1991, "Improving the Working Condition of the Electrode Wire-contact Tip Pair," *Paton Welding Journal*, Vol. 3, No. 4, pp. 290~294.
- (6) Quinn, T. P., Madigan, R. B., Mornis, M. A., and Siewert, T. A., 1995, "Contact Tube Wear Detection in Gas Metal Arc Welding," *Welding Journal*, Vol. 74, No. 4, pp. 115~121.
- (7) DeNale, R., and Lukens, W. E., 1986, "Increasing Contact Tube Life during Titanium Gas Metal Arc Welding," *Welding Journal*, Vol. 65, pp. 28.
- (8) Villafuerte, J., 1999, "Understanding Contact Tip Longevity for Gas Metal Arc Welding," *Welding Journal*, Vol. 78, No. 12, pp. 29~17.
- (9) Villafuerte, J., 2000, "Improving Contact-tube Performance through Cryogenics," *Welding Journal*, Vol. 79, pp. 45.
- (10) Massalski(ed.), T. B., 1986, "Binary Alloy Phase Diagram," *ASM International*, Vol. 1, pp. 819.