

GMA용접에서 용접재료에 따른 콘택트팁 내마모성에 관한 연구 Prediction on the Wear Resistance of Contact Tips to welding consumable for GMA Welding)

김남훈, 김희진, 유희수
한국생산기술연구원

1. 서 론

GMA용접에서 아크가 안정적으로 진행되기 위해서는 와이어가 공급되는 속도와 와이어가 용융되는 속도가 동일하여야 한다. 이를 위하여 와이어에 적절한 전류를 공급하여 송급된 와이어가 동일한 속도로 용융되도록 하여야 한다. 용접전류는 용접전원에서 용접 토치 최 선단에 위치한 콘택트팁을 통하여 와이어로 전송되기 때문에 콘택트팁의 재질은 전기전도도가 양호한 순수 구리(Cu) 또는 Cr, Zr 등이 함유된 구리 합금(Cu alloy)이 사용되고 있다. 이렇게 다양한 재질이 사용되고 있지만 콘택트팁의 주된 역할은 와이어에 용접전류를 전송하는 기능과 용융지로 와이어를 유도하는 기능이다^{1,2)}. 만약 콘택트팁이 손상되어 이러한 기능들을 제대로 수행되지 못하게 되면 용접부 결함을 유발하게 되며, 결함제거 및 팁 교체 등으로 용접생산성을 저하시키는 원인이 된다. 현재까지 콘택트팁의 손상기구에 대해서는 크게 두 가지가 보고되고 있다. 첫 번째로는 전기적 에로존(electric erosion)에 의한 손상으로써, 와이어와 콘택트팁이 접촉되는 팁 선단에서 미세한 아크가 발생하여 팁 표면의 일부가 용융되어 와이어 표면에 응착되는 현상이다. 두 번째 손상기구는 접촉된 두개의 면이 미끄러지면서 단단한 면상의 요철이나 경질입자의 절삭작용에 의해 일어나는 마찰마모현상이다. 콘택트팁은 아크 열에 노출되어 가열되기 때문에 고온에서의 마찰마모(abrasive wear)라고 하는 것이 보다 합리적일 것이다. GMA용접에서 사용하는 와이어는 크게 솔리드와이어와 플럭스스코어드와이어로 분류할 수 있다. 이들은 표면상태가 다르기 때문에 마모

량에 있어서도 차이를 보여 줄 것이다. 구리라도금된 솔리드와이어는 표면이 가장 평활하기 때문에 팁 마모량이 가장 적을 것으로 예상되며, 그 밖의 와이어들은 표면상태에 따라 그리고 용활재의 성능에 따라 커다란 차이를 보여 줄 것으로 예상된다. 이러한 예상에도 불구하고, 이들이 콘택트 팁 마모에 미치는 영향에 대해 보고한 실험결과는 찾아 볼 수 없었다. 본 연구에서는 국내에서 가장 많이 사용되고 있는 구리도금이 된 솔리드 와이어와 베이킹 처리를 한 플럭스스코어드 와이어에 대한 콘택트팁의 내마모성에 미치는 영향을 보고 하고자 하였다.

2. 실험 방법 및 재료

본 실험에서 사용된 용접전원은 정격전류 500A급의 인버터 용접기이며, 용접조건은 Table 1과 같으며, 보호가스는 장시간 용접시 스파터가 다량 발생하여 아크불안을 야기 시키는 문제를 감소하기 위해 Ar+CO₂(80%+20%) 혼합가스로 하였다. 용접모재는 200(R)×1000(L)×20(mm(t))크기의 고강도 파이프를 사용하여 연속용접이 가능하게 선반을 자체 개조하였으며, 이송속도(Travel speed)는 50cm/min으로 하였다.

Table 1. Welding conditions applied in this study.

Welding voltage	30 V
Welding current	250 A
Wire feeding rate	9 m/min
Contact tip-to-Work distance (CTWD)	20 mm
Travel speed	50 cm/min



Fig.1 콘택트팁 수명 평가 장비

2.1 용접재료

GMA용접에서 사용하는 와이어는 크게 솔리드 와이어와 플럭스코어드와이어로 분류할 수 있다. 이들은 각각 세분되어, (i) 솔리드와이어는 와이어 표면에 구리가 도금된 솔리드와이어, 구리가 도금되지 않은 무도금 솔리드와이어로 구분되며, (ii) 플럭스코어드와이어는 베이킹(baking)처리를 한 베이킹형과 베이킹처리를 하지 않은 논베이킹(non-baking)형으로 구분된다. 실제 실험에 사용된 용접 재료는 구리가 도금된 솔리드 와이어와 베이킹처리를 한 플럭스 코어드 와이어에 대하여 각각 실험을 하였다.

2.2 콘택트팁

본 시험에 사용된 콘택트팁의 종류 및 화학조성은 Table 2과 같다. 인(P)을 0.016% 함유한 '인탈산동팁(I)'은 시중에서 구매한 팁을 그대로 사용한 것인데, 최종 생산단계에서 냉간인발공정으로 가공하여 제조된 팁이다. 이를 Table 2에서는 'Cu-P(I)'이라고 표기하였다. 인탈산동팁(I)을 450°C에서 1시간 열처리하게 되면 냉간가공된 조직이 재결정되어 가공경화 효과를 모두 잃게 된다는 사실을 모의 열처리 시험에서 확인한 바 있었다²⁾. 따라서 본 연구에서는 가공경화 효과가 마모량에 미치는 영향을 보기 위하여 인탈산동팁(I)을 450°C/1시간 열처리하여 비교재로 사용하였는데, 이렇게 열처리된 팁을 '인탈산동팁(II)'라고 칭하고, Table 2에서는 'Cu-P(II)'라고 표기하였

다. 한편 시중에서 구매한 팁 중에서 0.25%정도의 크롬(Cr)을 함유한 재료의 팁을 '0.25%크롬동팁(I)'이라고 칭하고, Table 2에서는 'Cu-0.25%Cr(I)'이라고 표기하였다. 크롬(Cr)을 함유하고 있음으로 석출경화형으로 예측되었지만, 구매상태에서의 재료는 가공경화형인 것으로 판명된 바 있다²⁾. 이는 과시효(overaging)에 의해 석출경화 효과가 상실된 상태에서 냉간인발공정이 적용되었기 때문으로 사료된다. 이러한 0.25%크롬동팁(I)에 용체화처리(solution heat treatment) 및 시효처리를 행하게 되면 석출경화형으로 바뀌게 되는데, 이렇게 변환된 0.25%크롬동팁을 '0.25%크롬동팁(II)'라 칭하고 Table 2에서는 'Cu-0.25%Cr(II)'라고 표현하였다. '1%크롬동팁'은 시중에서 구매한 상태 그대로 사용하였는데, 이를 Table 2에서는 'Cu-1%Cr'이라고 표현하였다. 1%크롬동팁은 석출경화형으로 처리되어 있었을 뿐만 아니라 공정반응(eutectic reaction)으로 석출된 조대한 크롬(Cr)입자를 함유하고 있다. 그럼으로 1%크롬동팁은 이러한 정출물이 팁의 마모량에 미치는 영향을 평가하는데 매우 중요한 재료라 하겠다. 마지막으로 Cu-Cr-0.02%Zr팁은 시중에서 구매한 상태 그대로를 사용하였으며, Table 2에서는 'Cu-Cr-0.02%Zr'이라고 표현하였다.

Table 2. Chemical composition and characteristics of contact tips used in this study.

Identification	Chemical composition(wt.%)		Characteristics
	P	Cr	
Cu-P (I)	0.016	-	strain hardened
Cu-P (II)	0.016	-	annealed by 450°C/1hr
Cu-0.25%Cr (I)	-	0.20~0.35	overaged + strain hardened
Cu-0.25%Cr (II)	-	0.20~0.35	fully aged
Cu-1%Cr		0.8~1	aged + eutectic Cr ppt.
Cu-Cr-0.02%Zr			

2.3 마모량 측정방법

본 연구에서는 마모량(amount of wear, W)을 식 (1)과 같이 구멍의 초기 면적(A₀) 대비 용접 후 증가된 면적(A_t-A₀)을 백분율로 표현하였다.

여기서 A_0 는 용접 전의 구멍 면적이며, A_t 는 t 시간 용접한 후에 마모된 구멍의 면적이다. 이들 면적은 모두 공구 현미경을 사용하여 측정하였다.

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

3. 실험결과

지금까지 3가지 조성을 가진 여섯 가지 콘택트팁에 대해 용접마모 시험을 실시한 결과를 보여 주었다. 초기 상태가 어닐링 상태인 인탈산동팁(II)을 제외하면 나머지 4가지 팁은 가공경화형과 석출경화형으로 분류할 수 있다. 가공경화형으로 분류된 인탈산동팁(I)과 0.25%크롬동팁(I)은 초기에 급격한 마모를 보여 주는데, 특히 인탈산동팁(I)은 1시간 이내에 약 40%정도의 마모량을 보여 주었다. 이것은 용접 후 1시간 이내에 연신된 미세조직이 회복 및 재결정(recovery and recrystallization) 과정을 거치면서 경도가 최저치로 저하하고, 그에 따른 내마모성 저하 때문이라고 하겠다. 0.25%크롬동팁(I)은 미세조직 및 경도 변화 측면에서 인탈산동팁(I)과 유사한 경향을 보여 주었으나 내마모성에 있어서는 다소 향상된 경향을 보여 주었다. 이러한 사실로부터 과시효에 의해 석출된 크롬 입자가 내마모성 향상에 어느 정도 기여하고 있음을 유추할 수 있다.

한편, 0.25%크롬동팁(II)의 마모량은 0.25%크롬동팁(I)과 비교해 보면 시효처리에 의해 내마모성이 크게 향상되었음을 알 수 있다. 이것은 시효처리에 의해 석출된 크롬입자가 고온에서 장시간 동안 내마모성을 유지시켜 주었음을 의미하는 것이다. 특히 1%크롬동팁에서는 공정반응에서 생성된 정출물과 용접 중 진행된 추가 시효에 의해 고온에서의 내마모성 크게 향상되었기 때문이라고 판단되어 진다. 또 Cu-Cr-0.02%Zr팁 역시 크롬과 지르코늄이 시효처리에 의해 내마모성이 크게 향상된 것을 알 수 있었다.

4. 결 론

GMA용접에서 용접재료에 따른 콘택트팁의 마모정도를 용접시간에 따라 측정하고 측정된 결과를 팁의 재질에 따라 분류하고 금속학적 관점에

서 고찰하여 보았다. 이에 다음과 같은 결론을 제시할 수 있었다.

- 1) 용접재료에 따른 콘택트팁의 내마모성을 실험한 결과
- 2) 크롬동계 팁은 적절한 시효처리 여부에 따라 가공경화형 또는 석출경화형으로 구분되는데, 이들은 450℃/1시간 열처리한 후에 경도를 측정하면 구별할 수 있었다.
- 3) 가공경화형 팁은 극한 냉간압출로 상온에 경도를 향상 시켜도 실제용접 시 1시간 후가 되면 가공경화의 효과가 소멸되어 내마모성이 저하하였다.

후 기

본 연구는 부품소재 신뢰성 평가기반구축사업의 일환으로 수행되었기에 이에 감사 드리며, 실험을 도와준 서금희양에게 깊은 감사를 드립니다.

참고문헌

1. Hee Jin Kim Nam-hoon Kim, Hoi-Soo Kim, and Jin-Hyun Koh: Reliability of Contact Tip for Gas Metal Arc Welding, Journal of KWS, 21-7(2003) 9-17 (in Korean).
2. Nam-hoon Kim, Hee Jin Kim, Hoi-Soo Kim, and Jin-Hyun Koh: Variation of Microstructure and Hardness of Contact Tips during GMA Welding ,to be published.
3. 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
4. T. Yamada and O Tanaka: Fluctuation of the Wire Feeding Rate in Gas Metal Arc Welding. Welding Journal, 9(1987), 35-42
5. V. G. Degtyarev, M. P Novikov and N. M. Voropal: Improving the working condition of the electrode wire-contact tip pair. Paton Welding Journal, 1991, 3(4). p290-294