기 술 보 고

GMA용접용 크롬동 콘택트팁 개발

김 남 훈·김 희 진·유 회 수

Development of Cr-Cu Contact Tips for GMA Welding

Nam-hoon Kim, Hee-Jin Kim and Hoi-Soo Ryoo

1. 기술개요

GMA용접에서 아크가 안정적으로 진행되기 위해서는 와이어가 공급되는 속도와 와이어가 용융되는 속도가 동일하여야 한다. 이를 위해서는 와이어에 일정한 전류를 공급하여 송급된 와이어가 동일한 속도로 용융되도록 하여야 한다. 콘택트팁은 와이어에 용접전류를 전송시켜주는 역할을 하는데, 팁이 손상되어 이러한 기능들을 제대로 수행되지 못하게 되면 용접부 결함을 유발하게 되며, 결함제거 및 팁 교체 등으로 용접생산성을 저하시키는 원인이 된다[1-6]. 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 융착되는 현상이다. 두 번째 손상기구는 접촉된 두개의 면이 미끄러지면서 단단한 면상의 요철이나 경질입자의 절삭작용에 의해 일어나는 마찰마모현상이다. 콘택트팁은 아크열에 노출되어 가열되기 때문에 고온에서의 마찰마모(abrasive wear)라고 하는 것이 보다 합리적일 것이다[7-10].

최근 자동화용접이 확산되고 고전류용접이 보편화 되면서 콘택트팁이 처한 환경은 보다 열악해 지고 있다. 이러한 상황에서 팁 수명의 단축으로 인하여, 팁을 빈번히 교환하여 주어야 하기 때문에 팁의 수명이 용접생산성에 지대한 영향을 미치게 된다. 저해하는 요인으로 작용하게 된다[11-14]. 그럼에도 불구하고 콘택트팁의 수명을 평가할 수 있는 국제적인 규격은 없는 것이 현실이다. 국내에서는 일부 중공업사에서 자체 규격을 제정하여 운용하고 있으나, 이들은 화학조성 또는 초기 경도치 등만을 규정하고 있을 뿐 사용환경을 고려하지 않고 있다. 저자들은 이러한 국내외 현실을 고려하여 콘택트팁의 사용환경에 근거하여 신뢰성 인증 규격(RS D 0031)을 제정하였다[15].

국내에서는 크롬동 콘택트팁이 시중에서 판매되고 있었으나, 기 보고된 바[2]와 같이 가공경화형이기 때문에, 인탈산동팁과 유사한 특성을 보여주었다. 크롬동팁이라고 하더라도 석출경화형이 아니면 수명향상을 기대할 수 없다는 사실을 확인한 바 있다[3]. 따라서 본 연구에서는 국내에서 최초로 개발된 석출경화형 크롬동 팁을 대상으로 하여 앞서 제정한 신뢰성인증규격 RS D 0031(가스메탈아크용접용 콘택트팁)에 근거하여 팁의 수명을 평가한 결과를 보고 하고자 하였다.

2. RS D 0031 규격의 개요

2.1 콘택트팁 재질

GMA용접용 콘택트팁의 화학조성에 따른 재질분류는 전기전도도가 우수한 구리 또는 구리 합금이 사용되는데, 합금원소로 인(P), 크롬(Cr), 지르코늄(Zr), 은(Ag) 등이 소량 첨가된다. 콘택트팁은 이들 첨가원소 및 첨가량에 따라 Table 1과 같이 분류하는데, 이들의 명칭은 첨가된 주요 합금원소에 따라 인탈산동, 크롬동, 지르코늄동, 은입동 등으로 분류한다. 크롬동은 크롬함량에 따라 저크롬동 및 고크롬동으로 분류한다. 이들 합금 중에서 인탈산동 재질의 콘택트팁은 사용 수명이 상

Table 1 Chemical composition of various contact tips

Identification	Chemical Composition (wt.%)			
	P	Cr	Zr	Ag
Cu-P	0.015 - 0.04	-	-	-
Low Cu-Cr	0.01	0.25 - 0.65	-	-
High Cu-Cr	0.01	0.66 - 1.56	-	-
Cu-Cr-Zr	0.01	0.4 - 1.0	0.08 - 0.2	-
Cu-Ag	0.01	-	-	0.1

Copyright (C) 2005 NuriMedia Co., Ltd.

대적으로 매우 짧기 때문에 본 기준안의 대상에서는 제외되었다.

2.2 콘택트팁의 형상

콘택트팁의 길이, 구멍의 직경, 진원도 등은 Table 2에서 보여 주는 기준치를 만족하여야 한다. 콘택트팁의 길이는 0.1mm까지 정밀하게 측정할 수 있는 측정장비로 콘택트팁의 길이(L)를 측정한다. 제조자가 제시한 자체 규격치를 L_0라고 하면, 측정치는 모두 $L_0 \pm (0.02 \times L_0)$의 범위에 있어야 한다. 콘택트팁 구멍의 직경은 와이어가 나오는 출구측에서 구멍의 직경을 측정하는 것으로 한다. 공구현미경 상에서 구멍의 형상은 진원이어야 하며, 구멍의 직경은 적용 와이어 직경에 따라 Table 2에서 규정하고 있는 기준치를 만족하여야 한다. 콘택트팁의 진원도는 출구측 팁의 외경과 내경 동심원이어야 하며, 내경과 외경의 중심간 거리는 0.2mm 이내로 관리되어야 한다.

2.2 콘택트팁의 물성

콘택트팁의 물성은 경도로 측정한다. 경도는 평활하게 기계가공된 팁 표면에서 측정한다. 측정하기 전에 측정부위를 #100 연마지로 연마하여 기계가공으로 변형된 부위를 충분히 제거한다. 경도 측정방법은 로크웰 B스케일(HR_B)로 측정한다. 상온에서 3회 측정하여 평균한 값을 측정치로 한다. 표면에서의 경도측정이 적절치 않을 경우에는 팁 중앙부를 절단하여 전단면에서 측정하도록 한다.

콘택트팁은 고온의 아크열에 노출되어 용접 중에 온도가 상승하게 되는데 250A의 용접전류 조건에서 용접을 수행하면, 팁의 온도는 약 450℃까지 상승한다. 이러한 사용환경을 모사하기 위하여 450℃에서 1시간 열처리하고, 열처리된 시편 각각에 대해 로크웰 B스케일(HR_B)로 3회 측정하고 평균한 값을 측정치로 한다. 측정하기 전에 측정면을 #100 연마지로 연마하여 열처리 과정에서 산화된 부위를 충분히 제거한다. 이에 따른 평가기준은 열처리 전에 측정한 경도치 그리고 열처리 후에 측정한 경도치 모두가 $60HR_B$이상(100Hv) 이어야 한다.

Table 2 Dimension allowance of contact tip

Items		Allowance	Notes
Length(L_0)		$L_0 \pm (0.02 \times L_0)$	L_0 : manufacturer size
Diameter of hole (D)	d=1.2mm	1.30~1.40mm	d : diameter of wire used
	d=1.4mm	1.50~1.60mm	
	d=1.6mm	1.75~1.85mm	
Concentricity		Difference between center of inner-dia. & outer-dia. size ≤ 0.2 mm	Measured at tip-front

2.2 콘택트팁의 전기전도도

콘택트팁의 전기전도도는 KS D 0240의 평균단면적법에 준하여 측정한다[16]. 측정방법은 Fig. 1과 같이 시편에 일정한 전류(I_+)가 흐르는 상태에서 두 사이에 발생하는 전압강하($(V_+)-(V_-)$)를 측정하며, 전기저항치는 식(1)에 의거하여 체적저항율(resistivity, ρ)로 계산되는데, 여기서 A는 시편의 단면적이다. 계산된 저항율의 역수를 취하면 전기전도도(σ, 1/ρ)가 된다. 전기전도도는 통상적으로 International Annealed Copper Standard(IACS)값으로 표현되는데, 전기전도도(σ)와 %IACS 사이에는 직선적인 비례관계가 성립하기 때문에 식(2)에 의거하여 계산된다. RS D 0031 규격에서는 전기전도도를 75%IACS 이상으로 규정하였다.

$$\rho = R\frac{A}{L} = \frac{1}{\sigma} \tag{1}$$

$$\sigma(cm/\mu\mu\Omega) \times 1.724 = 1.724 \div \rho(\mu\Omega/cm) = \%IACS \tag{2}$$

2.5 콘택트팁의 용접 내마모성 평가

용접 내마모성 평가장비는 용접속도와 토치의 이송속도 제어가 가능해야 하며, 최소 5시간 이상 연속 용접할 수 있어야 한다. 이를 위해서 대구경 파이프를 모재로 하고, 이를 회전 시키면서 아래보기 자세로 비드-온-플레이트(bead-on-plate)용접을 장시간 실시한다. 파이프의 진원도는 ±1mm 범위로 관리 되어야 한다. 진원도가 관리되지 않으면 용접 중에 팁과 모재 간의 거

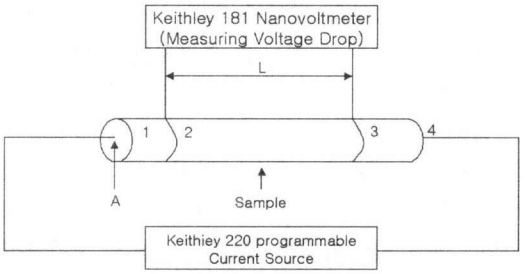


Fig. 1 Schematic diagram showing a 4-probe method to measure electrical conductivity

Copyright (C) 2005 NuriMedia Co., Ltd.

리(CTWD)가 변함으로 용접조건이 일정하게 유지되지 못한다. Fig. 2는 이러한 요건을 구비한 시험장치의 외관과 각 부위의 구성요소를 보여 주고 있다. 모재 강관은 터닝롤러에 크램핑하여 정속으로 회전하도록 하였으며, 용접토치는 이송장치에 부착되어 강관 상부에 설치한다. 따라서 용접이 시작되면 강관 표면에 아래 보기 자세로 원주방향으로 연속용접되는 것이다. 강관 내부에는 냉각수를 채울 수 있도록 하여 용접 중에 모재의 과열과 변형을 억제 할 수 있도록 하며, 용접흄을 제거하기 위하여 흄 포집장치(fume collector)를 용접토치 부위에 설치한다. Fig. 2에서 보여주는 기타 구성 요소는 다음과 같다.

① 용접재료 (300kg급 패일팩(pail pack)), ② 이송속도 제어 모터, ③ 용접 토치부, ④ 600A급 인버터 용접전원, ⑤ 강관 모재, ⑥ 터닝롤러, ⑦ 흄 포집장치, ⑧ 전체 제어부

용접재료는 KS규격에서 YGW11(AWS: ER70S-G, JIS 규격: YGW11)로 분류되는 솔리드와이어를 사용한다. 와이어 표면은 구리 도금되어 있어야 하며, 와이어의 직경은 1.2mm로 한다. 와이어 교체로 인해 용접이 중단되는 상황을 배제하기 위해 300kg급의 패일팩(pail pack)을 사용한다. 보호가스는 알곤+2%산소를 사용하며, 유량은 20ℓ/min로 한다. 용접조건은 와이어 송급속도(WFR)를 9m/min로 일정하게 하고, 모재와 팁 사이의 거리(CTWD)는 20mm로 고정하고, 용접속도는 500mm/min로 한다. 이러한 상황에서 용접전압은 29~30V로 유지하면 용접전류는 약 250~260A가 된다.

용접을 실시하기 전에 시편의 출구측 구멍의 면적을 측정하고, 일정시간 용접을 수행한 후에 재차 측정한다. 용접을 수행하면 Fig. 3에서 보는바와 같이 일정시간 용접 후에는 구멍의 면적이 증가하게 된다. A_0는 용접전의 구멍 면적이며, A_t는 t시간 용접한 후에 마모된

Fig. 2 Experimental setup of GMA welding for the wear resistance of contact tip wear resistance test

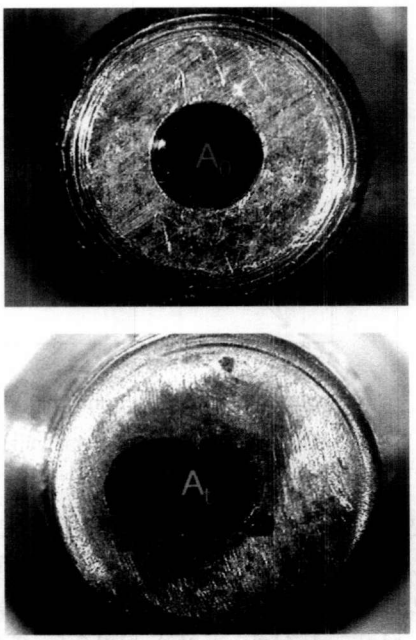


Fig. 3 Appearance of contact tip front: a)as-received condition, b) after welding for 't' hour

구멍 면적이다. 팁 마모량(W_t)은 식(3)과 같이 구멍의 초기면적(A_0) 대비 용접후 증가된 면적(A_t-A_0)을 백분율로 표현하게 된다. 측정 주기는 용접 시작 후 30분, 1시간, 2시간, 3시간, 4시간은 의무적으로 측정하여야 하며, 이후에는 필요에 따라 측정한다.

$$W_t(\%) = \frac{A_t - A_0}{A_0} \times 100 \qquad (3)$$

용접시간이 증가하면 출구측 구멍이 점차 확장되어 팁 마모량(W_t)이 증가하게 된다. Fig. 4는 두 가지 서로 다른 조성의 콘택트팁에 대해 용접마모 시험을 실시한 결과를 보여 주는 것인데, 용접시간 또는 와이어 송급길이를 변수로 하여 팁 마모량(W_t)을 표현한 것이다. 와이어 송급속도가 일정함(9m/min)으로 용접시간과 송급길이 사이에는 비례관계가 성립한다. 즉 30분 용접한 경우에는 와이어 송급길이는 270m이며, 1시간 용접하면 송급길이는 540m가 되는 것이다. Fig. 4의 시험결과에서 보여 주듯이, 용접 초기에는 팁 마모가 급속히 진행되다가 이후에는 점진적으로 증가하는 경향을 보여 주었다.

콘택트팁의 수명은 팁 마모량(W_t)이 45%에 이르는 시점으로 가정하였다. 그리고 이에 이르기까지 송급된 와이어 총 길이를 '한계수명'이라고 칭하였다. 이러한 정의에 따르면, Fig. 4에서 팁A(인탈산동)의 한계수명은 1.0km가 된다. 그러나 팁B(석출경화형 크롬동팁)

Copyright (C) 2005 NuriMedia Co., Ltd.

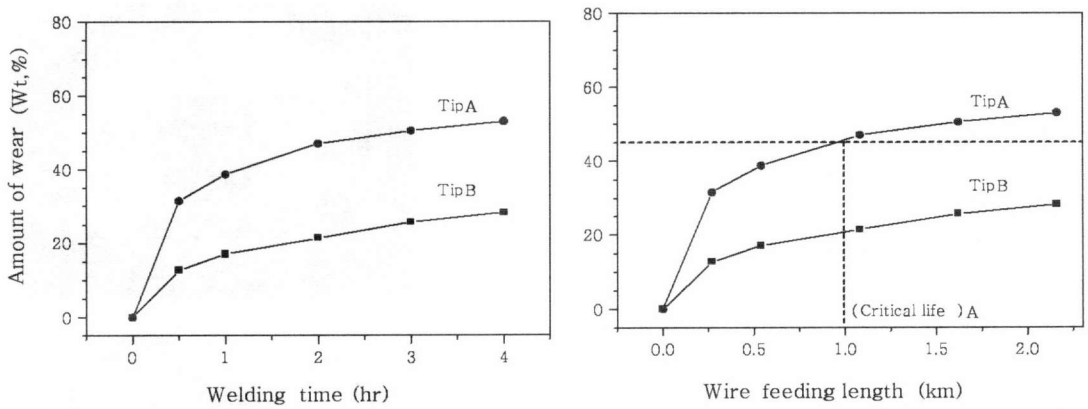


Fig. 4 Amount of wear with (a) welding time and (b) with wire feeding length

는 내마모성이 우수하여 4시간 동안 용접하여도 마모량이 30%에 못 미쳤다. 이러한 경우에 팁의 한계수명을 실험적으로 도출하려면 장시간동안 용접시험을 수행해야 하는 어려움이 있다. 이러한 어려움을 해소하기 위하여 4시간 까지 실험한 결과를 근거로 하여 한계수명을 추정하는 방법을 도입하였다. 송급길이를 로그함수로 취하여 Fig. 4(b)의 결과를 재구성하면 Fig. 5와 같이 직선 관계가 도출된다. 여기서 4시간 까지 얻어진 데이터를 연장하면 W_t=45%와 교차하게 되는데, 이렇게 교차하는 위치에서의 송급길이를 한계수명으로 추정한다. 이러한 방법으로 팁B의 한계수명을 추정하여 보면 추정치는 약 21km 정도가 된다. 이러한 한계수명을 근거로 하여 콘택트팁의 내마모성 및 사용 수명을 비교평가 할 수 있도록 하였다.

그리고 용접마모에 의한 콘택트팁의 고장밀도함수가 와이블분포를 따른다고 가정하고 형태모수(β) 값을 추정하기 위하여 가공경화형 인탈산동을 사용하여 용접

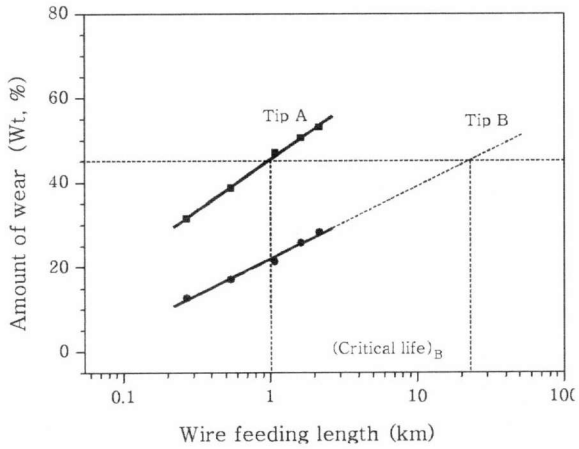


Fig. 5 Estimation critical life & correlation between total wire feeding length and amount of wear(Wt)

내마모 저항성 시험을 수행 한 결과를 와이블분포지에 나타내어 기울기를 구한 결과 형태모수(β)값은 14.이었다. 이러한 와이블분포의 누적분포함수는 식(4)과 같이 표현된다.

$$F(x)=1-\exp\left(-\left(\frac{t}{\eta}\right)^{\beta}\right) \tag{4}$$

여기서 η 는 척도모수이며, β 는 형상모수이다.

식(4)의 누적분포함수에서 Bx수명(x%=100x) 및 신뢰수준(100(1-α)%)과 이를 보증하기 위한 필요 시료수(n)는 다음과 같은 관계식(5)으로 표현된다.

$$n \geq \frac{\chi_{\alpha}^{2}(2r+2)}{2} \times \frac{1}{\ln(1-x)^{-1}} \times \left(\frac{t^{*}}{t_0}\right)^{\beta} \tag{5}$$

여기서 t^{*} : 목표 시험수명, t_o : 시험시간, r : 허용고장수. n : 시료수 이다.

신뢰성 기준안에서는 B_5수명 10km, 20km 또는 40km를 보증하기 위한 시험시간(t_o)을 용접와이어 송급길이로 도출하였다. 그리고 수명평가시험에는 3개의 시편을 사용하는 것으로 하였다. 이들 수치를 식(5)에 대입하면 무고장(n=0)조건에서 필요한 시험시간은 $t_0 = t^{*} \div 0.8096$ 이다.

따라서 t^{*} = 10km이면 t_0 = 12.35 km이 되고,
t^{*} = 20km이면 t_0 = 24.70 km이 되고,
t^{*} = 40km이면 t_0 = 49.40 km이 도출된다.

따라서 3개의 시편 모두에서 45%마모량에 이르는 시간이 12.5km 이상이면 B_5수명 10km를 95% 신뢰수준으로 보증할 수 있으며, 45%마모량에 이르는 시간이 25km 이상이면 B_5수명 20km를, 45%마모량에 이

Copyright (C) 2005 NuriMedia Co., Ltd.

르는 시간이 50km 이상이면 B_5수명 40km를 95% 신뢰수준으로 보증할 수 있다.

3. 석출경화형 크롬동팁의 한계수명

3.1 콘택트팁의 재질 및 형상

Fig. 6의 콘택트팁은 최근 국내에서 개발된 석출경화형 콘택트팁의 실제 형상이며, 크롬함량이 0.5%로 저크롬동이었다. 콘택트팁의 형상 관련 측정항목에 관하여 측정해 본 결과 Table 3에 나타난 것처럼 모두 기준치를 만족하는 것을 알 수 있었다. Table 3에서의 결과와 같이 콘택트팁의 길이는 45±0.5mm로 평가기준인 $L_0\pm(0.02\times L_0)$를 만족하였으며, 콘택트팁의 직경은 1.35~1.39mm로 평가기준인 1.30~1.40mm를 만족하였다.

3.2 콘택트팁의 경도

콘택트팁의 경도는 20개의 시편을 샘플링하여 시편 모두에 대해 로크웰 B스케일(HR_B) 경도를 측정하고 평균치를 Table 4에 보여주었다. 결과에서 보듯이 초기경도는 85HR_B로써 기준치(60HR_B)를 크게 상회함을 알 수 있었다.

그리고 열처리 후 경도측정은 콘택트팁을 20개 시편 중 경도가 가장 낮은 2개의 시편과 경도가 가장 높은 2개의 시편을 채취하여 450℃에서 1시간 열처리하여 3회 측정하여 평균한 결과를 Table 4에 나타내었는데, 측정치는 80HR_B 이상을 보여주었으며, 평균치는 84HR_B를 보여주어 기준치 (60HR_B)를 만족하였다.

그리고 Fig. 7은 두가지 종류의 크롬동팁을 취하여 열처리 시간에 따른 미세경도(H_V)변화를 보여주는 결과이다. 석출경화형 크롬동팁은 시간이 경과함에 따라 서서히 감소하기는 하지만, 6000분이 경과하여도 150H_V 이상이 유지됨을 알 수 있었다. 그런데 가공경과형 크롬동의 경우에는 1시간 열처리 후에 60H_V 정도로 저하하였다. 이와 같이 크롬동팁이라고 하더라도 제조공정에 따라 열처리후 경도는 커다란 차이를 보일 수 있다.

3.3 콘택트팁의 전기전도도

콘택트팁의 전기전도도는 측정하기 위해 팁에서 1×3×20mm 크기의 시편을 채취하여 Fig. 8과 같이 나노전압계(nanovoltmeter)와 전류전원(current source)을 이용하여 전기전도도를 측정하였다. Table 5는 전기전도도 측정 결과인데, 3개의 시편 모두 79%IACS 이상이었으며, 평균 80%IACS 가까운 도전율을 나타내었다.

Fig. 6 The picture of Cu-Cr contact tip evaluated in this study

Table 3 Geometric measurement for tip evaluation

Item measured		Test result
Length(L0)		45±0.5mm
Diameter of hole tip-end (D)	d=1.2mm	1.35~1.39mm
Concentricity		1.15mm

Table 4 Hardness test result of Cu-Cr contact tip

Condition	No. of specimen tested	Average hardness(HRB)
As-recieved	20	85
After heat treatment (450℃/1hr)	4	84

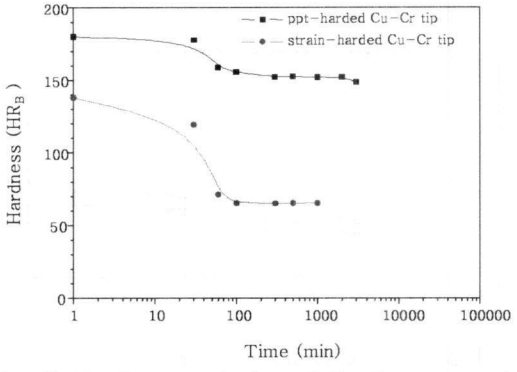


Fig. 7 Hardness variation of Cu-Cr contact-tips with holding time at 450℃

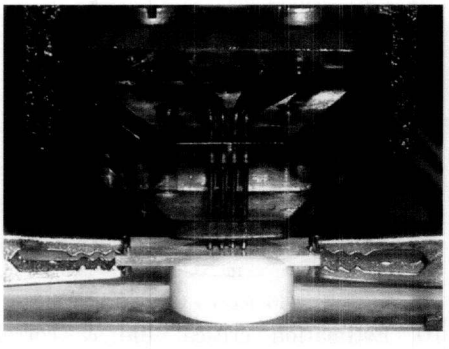


Fig. 8 Equipment used for electrical conductivity measurement

Copyright (C) 2005 NuriMedia Co., Ltd.

Table 5 Result of electrical conductivity of Cu-Cr contact tip

Contact Tip	Electrical conductivity (%IACS)
specimen 1	79.8
specimen 2	79.9
specimen 3	79.6
Av.	79.8

3.4 콘택트팁의 용접 내마모성

Fig. 9는 용접 시간에 따른 콘택트팁의 마모량을 나타낸 그래프인데, 그래프에서 보듯이 3개의 시편 모두가 유사한 경향을 보여주었다. 4시간 후에 측정된 마모량은 20%이하인 것을 알 수 있었다. 이를 가공경화형 콘택트팁의 마모량(Fig. 4(6))과 비교하여 보면, 내마모성이 크게 향상되었음을 알 수 있다. 따라서 열처리 후 경도가 팁의 내마모성을 결정하는 가장 큰 인자임을 예측할 수 있었다.

Fig. 10은 Fig. 9의 결과를 이용하여 한계수명을 추정한 것이다. 한계수명은 콘택트팁의 마모량(W_t)이 45%에 이르는 동안 송급된 와이어 총 길이로 정의한 것이다. 콘택트팁의 실제수명은 팁 마모뿐만 아니라 스패터 부착, 번백 등에 의해서 결정되는 것이다. 여기서는 다른 영향은 모두 무시하고 단지 팁 마모만을 변수로 하여 수명을 추정하였음으로 이를 '한계수명'이라고 한 것이다. 연속용접 4시간까지 실험한 결과를 근거로 하여 송급길이를 로그함수로 취하여 재구성하면 Fig. 10과 같이 직선의 관계가 도출된다. 여기서 4시간 까지 얻어진 데이터를 연장하면 W_t=45%와 교차하는 위치를 추정하면 약 600km정도에 이르는 것을 알 수 있었다. 기보고한 바와 같이 가공경화형 크롬동 콘택트팁의 경우는 한계 수명이 약 3km 정도에 불과하였다[3].

그리고 신뢰성인증규격(RS D 0031)에 근거하여[15] 3개의 시편에 대하여 실험한 결과를 45%마모량에 이르는 시간이 50km이상이었으므로 B_5수명 40km를 95% 신뢰수준으로 보증할 수 있는 등급이 나왔음을 확인하였다.

Fig. 11은 용접 내마모성 실험 전·후의 콘택트팁 외형을 나타낸 것이다. Fig. 11의 A는 용접 전의 구멍의 형상과 크기를 보여 주는 것이고, Fig. 11의 B는 4시간 용접한 후의 구멍의 형상 및 크기를 보여 주는 것이다. 4시간 용접 후 20%정도 구멍의 면적이 증가하였지만 육안으로는 명확히 구분되지 않을 정도였다.

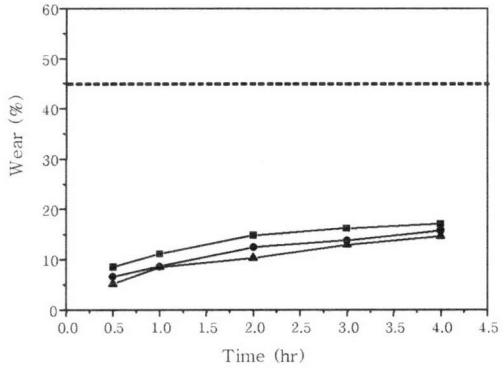


Fig. 9 Amount of wear vs. welding time curve for Cu-Cr contact tip

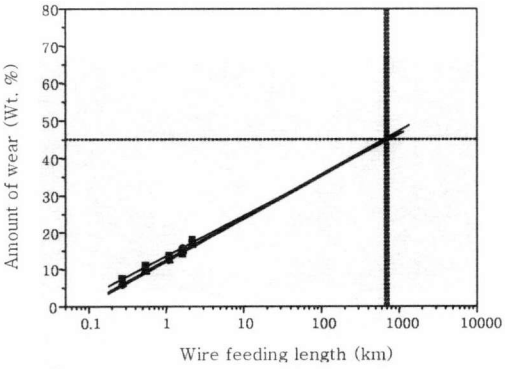


Fig. 10 Estimation critical life & correlation between total wire feeding length and amount of wear(Wt)

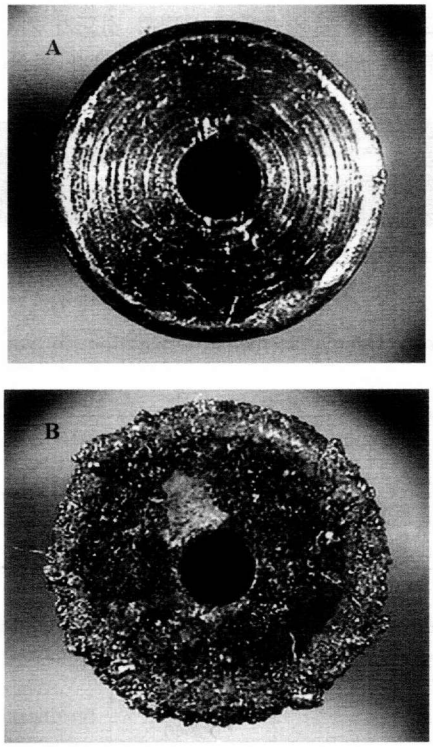


Fig. 11 Wear of contact tip: a)area of exit hole before welding, b) area of worn-out hole after 't' hour welding

Copyright (C) 2005 NuriMedia Co., Ltd.

4. 결 론

국내에서 개발된 석출경화형 크롬동 콘택트팁을 신뢰성인증규격(RS D 0031)에 의거하여 시험한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1) 개발된 크롬동팁은 0.5%크롬(Cr)을 함유한 저크롬동이었다. 초기경도는 85HR_B이었으며, 전기전도도는 79%IACS이상이었다.

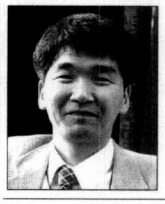
2) 초기경도는 85HR_B이었으며, 450℃에서 열처리 후에도 급격한 경도 저하는 없었다.

3) 용접 내마모시험결과 45% 마모량에 이르는 와이어 송급길이(한계수명)가 600km이상이었다. 이는 가공경화형 콘택트팁에 비해 200배 이상 내마모성이 향상된 것이다.

참 고 문 헌

1. Hee Jin Kim Nam-hoon Kim, Hoi-Soo Ryoo, 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 Ryoo, and Jin-Hyun Koh: Variation of Microstructure and Hardness of Contact Tips during GMA Welding, Journal of KWS, **22-1** (2004) 43-49 (in Korean).
3. Nam-hoon Kim, Hee Jin Kim, Hoi-Soo Ryoo, and Jin-Hyun 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. T. Yamada and O Tanaka: Fluctuation of the Wire Feeding Rate in Gas Metal Arc Welding. Welding Journal, **9** (1987), 35-42
6. 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). 290-294
7. J. Villafuerte, J. 1999. Understanding contact tip longevity for gas metal arc welding: Welding Journal **78** (12): 29-35
8. Villafuerte, J. 1997. Contact tip failure mechanisms, R&D Doc# 2001-01, Tregaskiss Ltd., Oldcastle, Ont., Canada
9. T. P. Quinn, Madigan, R. B., Mornis, M. A., and Siewert, T. A. 1995. Contact tube wear detection in gas metal arc welding. Welding Journal **74** (4): 115-s to 121-s
10. The contact-tube distance in a gas-shielded metal-arc welding - How does it work?, Welding and Cutting, **2** (2002), 80
11. G. Adam, T. A. Siewert, T. P. Quinn and D. P. Vigliotti: Contact tube temperature during GMAW, Welding Journal, **80** (2001), 37
12. R. DeNale and W. E. Lukens: Increasing contact tube life during titanium gas metal arc welding, Welding Journal, **65** (1986), 28
13. J. Villafuerte: Improving contact-tube performance through cryogenics, Welding Journal, **79** (2000), 45
14. J. Villafuerte: Stronger copper for longer lasting contact tips and electrodes, Welding Journal, 82, **11** (2003), 50
15. RS D 0031: Contact Tip for Gas Metal Arc Welding, 2004(in Korean)
16. KS D 0240: Measuring methods for electrical resistivity and conductivity of non-ferrous materials, 1971(in korean)

• 김남훈(金男勳)
• 1975년생
• 한국생산기술연구원, 한국기술교육대학교
• 용접전원개발, 용접기자재신뢰성평가
• e-mail : namshy@kitech.re.kr



• 유회수(柳會洙)
• 1965년생
• 한국생산기술연구원, 정밀접합용접팀
• 디지털용접전원개발, 자동제어, 집합조직
• e-mail : hsryoo@kitech.re.kr

• 김희진(金喜珍)
• 1953년생
• 한국생산기술연구원,정밀접합용접팀
• 용접전원파형제어,용접재료개발
• e-mail : kimhj@kitech.re.kr

Copyright (C) 2005 NuriMedia Co., Ltd.