https://doi.org/10.7735/ksmte.2024.33.2.92

J. Korean Soc. Manuf. Technol. Eng.
ISSN 2508-5107(Online)

Check for updates

내마모성 소재 삽관을 통한 GMAW 콘택트 팁 개발

신승철[a], 진병주[a,*], 정우현[b]

Development of GMAW Contact Tips Via Intubation of Wear-resistant Material

Seung-Cheol Shin[a], Byeong-Ju Jin[a,*], Woo-Hyun Gung[b]

[a] *Smart Manufacturing Engineering Group, Institute for Advanced Engineering*
[b] *Co. World S*

ARTICLE INFO

Article history:
Received 8 February 2024
Revised 7 March 2024
Accepted 8 March 2024

Keywords:
Contact tip
Wear resistance
Wear rate
GMAW

ABSTRACT

In gas metal arc welding (GMAW), contact tips are used to transmit current to a wire and guide it into a molten pool. Once the tip is used for a long period, it becomes worn out, and the hole size of the contact tip increases. This causes wire mispositioning during welding, thus resulting in a deviation in the weld line (or an unstable arc), which is a welding defect. Therefore, worn contact tips should be replaced with new ones occasionally. Frequently repeated contact-tip replacement decreases welding productivity. In this study, a new type of contact tip is developed, in which a tube fabricated using STS 304 is inserted by expanding the hole inside a normal contact tip. The newly developed contact tip is used in GMAW, which allows continuous welding. Results show that its wear resistance and durability are better than those of a normal tip, thus confirming its longer lifetime.

1. 서 론

아크 용접의 대표적인 GMAW(gas metal arc welding, 이하 GMAW) 공정의 토치는 노즐, 콘택트 팁, 가스 디퓨져, 오리피스, 라이너, 절연체 등으로 구성되어 있으며, 콘택트 팁은 주요 와이어에 전류를 전달하면서 와이어를 용융풀로 유도하는 역할을 한다. 용접 중 아크길이가 안정적으로 유지되기 위해서는 와이어의 송급속도가 일정해야 하며, 이를 위해서는 적절한 전류가 와이어에 공급되어야 한다[1,2].

용접을 장시간 하는 경우 아크에서 발생하는 열과 와이어 자체 발생하는 저항열, 그리고 와이어와 콘택트 팁과의 마찰에 의해 콘택트 팁의 출구 홀 부위가 마모된다. 마모된 홀은 용접 시 와이어 선단의 위치가 용접선을 벗어나게 하여 불안정한 아크 발생으로 인해 비드 표면에 핀 홀과 같은 용접 결함을 발생시킬 수 있다. 이에 마모된 콘택트 팁은 불안정한 상태의 아크가 발생하거나 결함 등이 발생하기 전에 새로운 팁으로 교환을 해주어야 하며, 이러한 교환 주기를 수명(life time)이라 한다[3-7].

기존 수동 용접을 많이 적용하고 있는 조선, 원자력 등의 산업에서 용접사 고령화로 인한 인력 부족 등의 문제로 로봇을 활용한 용접자동화 공정을 도입하고 있으며, 생산성 향상을 위해 높은 전류를 사용한 용접을 적용하고 있다. 와이어에서 발생하는 저항열이 더욱 증가하는 고전류 용접공정 특성상 콘택트 팁의 수명은 더욱 짧아지고 있어 교환주기가 더욱 증가하고 있다. 이는 용접을 진행하는 동안 비가동 시간의 증가로 인해 생산성 저하의 문제로 이어지게 된다.

콘택트 팁의 교환주기를 줄이기 위해서는 높은 전류를 사용하는

* Corresponding author. Tel.: +82-31-330-7366
E-mail address: bjjin@iae.re.kr (Byeong-Ju Jin).

공정에서도 높은 저항열에 의한 마모를 견딜 수 있게 제작하여 콘택트 팁의 수명을 늘려줘야 한다.

현재 보편적으로 사용되고 있는 콘택트 팁의 재료는 인탈산 동, 크롬 동, 지르코늄 등이 있으며, 이러한 소재를 사용한 콘택트 팁을 인탈산동 팁, 크롬동 팁, 지르코늄 팁이라 명명한다. 기존 자동차 차체 및 부품을 제작하는 업체의 경우 사용 중인 팁들의 수명과는 상관없이 일정한 시간 동안 사용 후 교체하는 것이 현재 일반적인 교환주기라 볼 수 있다. 기존 이러한 콘택트 팀의 수명을 늘려주기 위한 연구를 살펴보면 팁 자체를 경화 처리하여 소재 경도를 상승시켜 내구성을 향상하거나 콘택트 팁 내부에 판상 스프링을 장착하는 '알파 팁'과 같이 형상의 변화를 통해 내구성 향상을 꾀하고 있다. 이에 본 연구에서는 주기적인 교환을 통한 팁 사용의 수량을 줄이고 용접 생산성에서의 향상을 가져오기 위해 기존 콘택트 팁 내부 홀을 확장 가공하여 STS 304 소재의 관을 삽입한 새로운 형태의 콘택트 팁을 개발하였으며, 연속적으로 용접할 수 있는 GMAW 공정 시스템을 사용하여 기존 팁과의 내마모 및 내구성에 대한 비교 평가를 진행하였다.[8,9]

2. 본 론

2.1 실험 재료 및 방법

본 실험에서 사용한 콘택트 팁은 내부 홀 길이 44.98 mm 내부 직경 1.27 mm인 현장에서 보편적으로 사용되는 크롬동 콘택트 팁을 사용했으며, Fig. 1과 같이 단면 형상과 내부 홀 직경을 핀 게이지와 OM (optical microscope, 이하 OM)을 이용해 측정하였다. 삽관 소재는 콘택트 팁의 주요 성분인 구리보다 내열성이 우수하고 경도가 높은 STS 304 재질로 하였으며, 1.2∅ 와이어의 원활한 송급을 위해 내경 1.3 mm, 두께 0.3 mm 관을 사용하였다.

신규 개발하여 사용한 콘택트 팁은 Fig. 2와 같이 콘택트 팁 내부 홀 전체를 가공해 팁의 길이와 동일한 STS 304 관을 삽관하였다. 콘택트 팁 중앙부에 나사산 가공을 했으며, 볼트 체결을 통해 삽관을 고정하였다.

콘택트 팁의 내마모성 평가를 위해 일반적인 GMAW 공정을

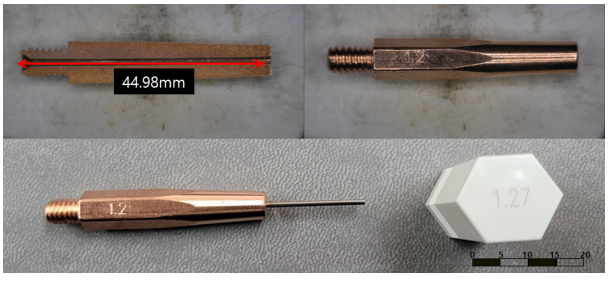


Fig. 1 Normal contact tip inner diameter, length measurement

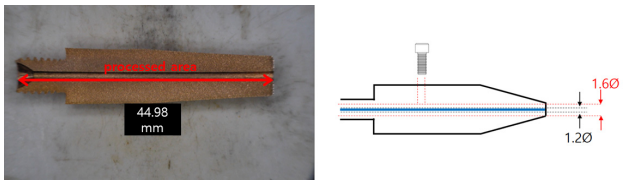


Fig. 2 Machined contact tip scheme

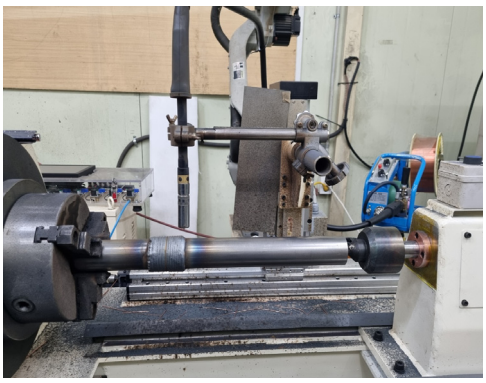


Fig. 3 Experimental setup of welding for the wear resistance of contact tip

Table 1 Welding condition

Welding voltage (V)	16
Welding current (A)	170
Wire feeding rate (m/min)	3.6
Contact tip-to-work distance (mm)	20
Travel speed (mm/min)	190
Shield gas flow speed (L/min)	20

적용한 로터리 척과 삼압대에 의해 고정된 용접 모재가 회전하고 용접토치를 고정한 지그가 수평 방향으로 일정한 속도로 이동하면서 표면에 BOP (bead-on-plate) 연속 용접을 할 수 있는 실험 장치를 Fig. 3과 같이 구성하였다.

연속 실험을 위해 용접 토치가 고정된 지그는 상하좌우 이동 가능한 레일에 설치되어 있으며, 지그가 레일에 부착된 동작 센서의 신호를 받아 일정 거리를 연속적으로 반복 운동하게 설정되어있다.

장비의 용접기 사양은 500 A 급 용접기를 사용하였다. 용접 모재는 50(R)×500(L)의 SS400을 사용하였으며, 와이어는 KC-28 1.2∅를 사용하였다.

와이어 제조사가 권장한 적정 용접 조건을 참고해 용접 조건을 Table 1과 같이 설정하였다. 전류 160-170 A, 전압 15-16 V를 유지하였고 용접 속도는 190 mm/min, 모재와 콘택트 팁 사이의 거리(contact tip to work distance, 이하 CTWD)는 20 mm 일정하게 유지해 용접을 진행하였다. 보호가스는 용접 시 스패터 발생을 최소화하기 위해 Ar+20% CO2를 유량 20 L/min로 실험을 진

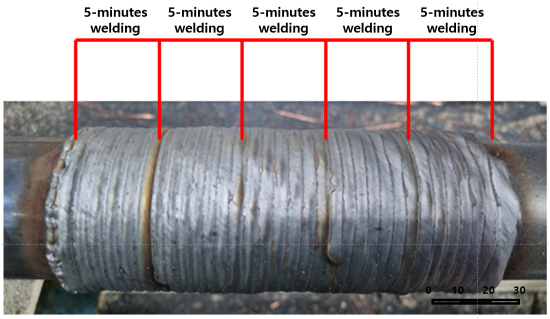


Fig. 4 Weld bead surface with machined contact tip

행하였으며, Fig. 4와 같이 일정한 비드 형상을 얻을 수 있었다.

본 연구에선 용접기의 사용률을 고려하여 5분 용접 5분 휴게를 반복했으며, 총 1시간(30분 용접, 30분 휴게)를 'Cycle' 1회로 정의하여 실험을 진행하였다.

콘택트 팁의 내마모성 및 내구성 성능을 평가하기 위해 콘택트 팁의 마모 정도를 측정하여 계량화 하고자 실험 전 후 콘택트 팁 출구 측 홀 면적을 비교해 홀 면적의 증가량(W(%))을 계산하였다.

은 콘택트 팁 출구 측 홀 초기 면적(A_0)과 용접 후 콘택트 팁 출구 측 홀 면적(A_t)의 비로 용접 후 증가된 면적(A_t-A_0)을 용접 전 면적(A_0)으로 나누어 식(1)과 같이 백분율로 표현하였다.[10]

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

W(%): 용접 후 콘택트 팁 출구 측 홀 면적의 증가량

A_t: 용접 후 콘택트 팁 출구 측 홀 면적

A_0: 용접 전 콘택트 팁 출구 측 홀 면적

3. 실험 결과

3.1 와이어 송급에 의한 콘택트 팁 마모 측정

와이어 송급에 의한 콘택트 팁 마모 정도를 알아보기 위해 KC-28 1.2∅ 와이어를 9 m/min 속도로 2시간 동안 송급했으며, 마모 전 후 콘택트 팁 출구 측 홀 형상을 OM으로 촬영해 Fig. 5, Fig. 6에 나타내었다

와이어 송급 시 비 가공 콘택트 팁은 콘택트 팁 내경에서 마찰이 발생해 내부 홀 면적이 1.412 mm^{2}에서 1.677 mm^{2}로 약 18% 증가했으며, 일정한 곡률을 가진 와이어 송급으로 인해 콘택트 팁의 특정 방향에서 마모가 집중되는 걸 확인하였다. 반면 가공 콘택트 팁은 와이어 송급 시 비교적 경도가 높은 AISI 304 소재의 삽관에서 마찰이 발생해 내부 홀 면적이 1.492 mm^{2}에서 1.501 mm^{2}로 약 0.5% 증가했으며, 비 가공 콘택트 팁 대비 마모 정도가 약 96% 감소하였다.

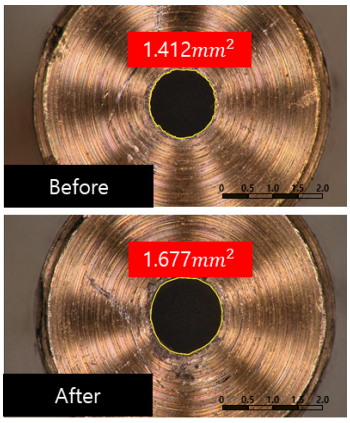


Fig. 5 Worn normal contact tip by wire feeding: before use(up) & after use(down)

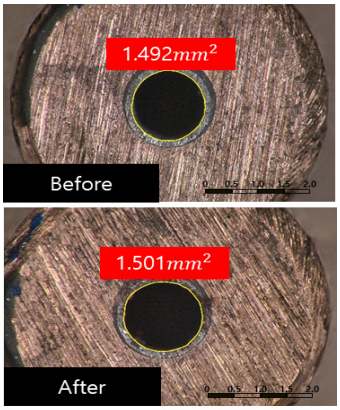


Fig. 6 Worn machined contact tip by wire feeding: before use(up) & after use (down)

3.2 용접 시 콘택트 팁 마모 측정

Table 2와 Table 3은 가공 콘택트 팁과 미 가공 콘택트 팁의 용접 후 외관 형상과 면적을 보여 주며, 측정 전 콘택트 팁 표면에 붙은 스패터 제거를 위해 표면을 연마하였다. 홀 면적의 증가량은 용접 전 콘택트 팁 홀의 면적과 비교하여 계산하였다. Table 2와 같이 미 가공 콘택트 팁 출구 측 홀 면적은 용접 전 1.581 mm^{2}에서 Cycle 1회 진행 후 1.801 mm^2 Cycle 2회 진행 후 1.917 mm^2 Cycle3회 진행 후 2.034 mm^2 Cycle 4회 진행 후 2.034 mm^{2}로 12.215%, 17.527%, 22.271%, 27.775% 증가하였다.

Table 3와 같이 가공 콘택트 팁 출구 측 홀 면적은 용접 전 1.389 mm^{2}에서 Cycle 1회 후 1.405 mm^2 Cycle 2회 후 1.408 mm^2 Cycle 3회 후 1.405 mm^2 Cycle 4회 후 1.417 mm^{2}로 1.139%, 1.349%, 1.419%, 1.976% 증가하였으며, 용접 시에도 가공 콘택트 팁에서 발생하는 마모 수준이 낮은 것을 확인하였다.

용접 시 콘택트 팁의 홀 면적의 증가량을 보면 용접 초기 30분 동안 전체 홀 면적의 증가량의 절반 이상의 마모가 진행이 되는 걸 확인 가능하다. 이는 콘택트 팁 마모 초기 단계에서 콘택트 팁과

Table 2 Worn normal contact tip by welding for 4 cycles

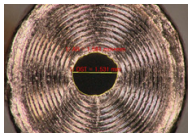
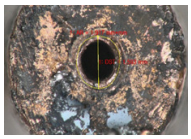
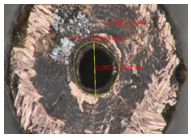
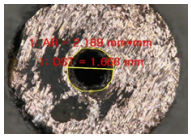
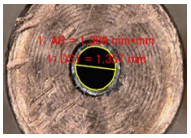
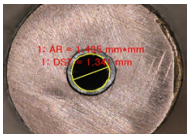
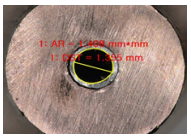
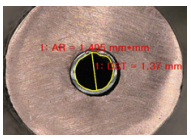
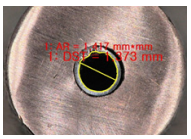
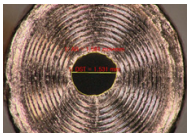
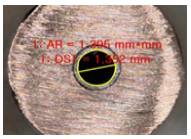
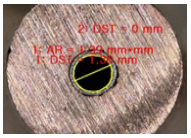
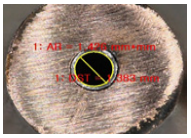
Cycle	Appearance	Hole size (mm^2)	Amount of increase of hole size (%)
0		1.581	0
1		1.801	12.215
2		1.917	17.527
3		2.034	22.271
4		2.189	27.775

Table 3 Worn machined contact tip by welding for 4 cycles

Cycle	Appearance	Hole size (mm^2)	Amount of increase of hole size (%)
0		1.389	0
1		1.405	1.139
2		1.408	1.349
3		1.409	1.419
4		1.417	1.976

와이어 사이 선 접촉 상태에서 마모가 진행이 되다가 어느 정도 콘택트 팁이 마모가 되면 면 접촉 상태로 마모가 변환되어 단위

Table 4 Wear of machined contact tip by welding for 20 cycles

Cycle	Appearance	Hole size (mm^2)	Amount of increase of hole size (%)
0		1.361	0
5		1.390	2.086
10		1.395	2.437
15		1.409	3.407
20		1.426	4.558

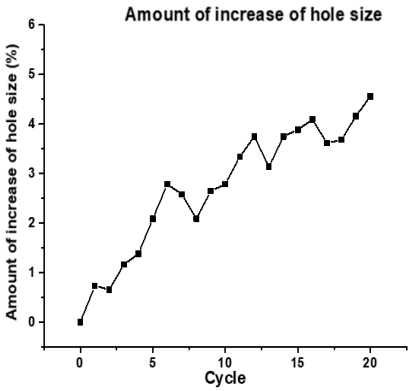


Fig. 7 Contact tip amount of increase of hole size by welding for 20 cycles

시간당 홀 면적의 증가량이 지속적으로 감소하기 때문이다.[3]

3.3 가공 콘택트 팁의 내구도 성능 확인

Table 4에 Cycle 20회 즉 10시간 동안 연속 용접 실험 동안 콘택트 팁 출구 측 홀 외관 형상과 면적을 보여주며, 측정 전 콘택트 팁 표면에 붙은 스패터를 제거하기 위해 표면을 연마하였다. 홀 면적의 증가량은 용접 전 콘택트 팁 홀의 면적과 비교하여 계산해 Fig. 7에 전체 실험 데이터를 나타내었다. Table 4를 보면 용접 시간이 증가함에 따라 스테인리스 삽관의 마모가 진행됐으나 삽관을 감싼 콘택트 팁 내부의 마모는 일어나지 않았으며, 앞에 언급한

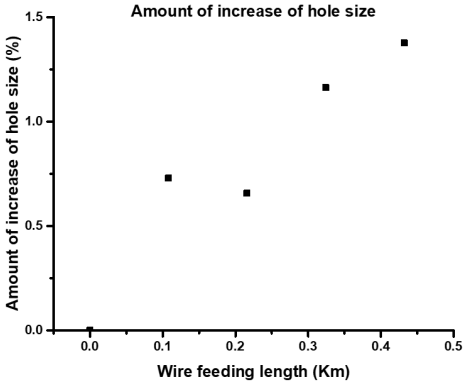


Fig. 8 Amount of increase of hole size according to wire feeding length

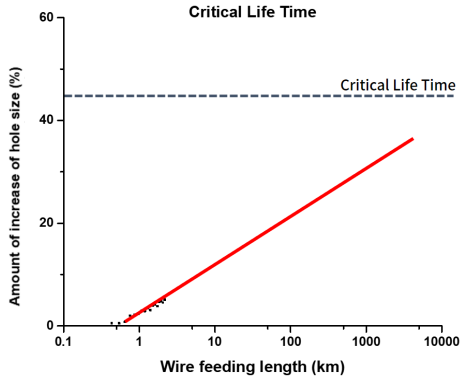


Fig. 9 Critical life time graph

바와 같이 용접 초기에 홀 면적의 증가량이 가장 가파르게 증가했으나 이 후 단위 시간당 홀 면적의 증가량이 지속적으로 감소하였으며, 10시간 용접 후 약 4.558% 마모되었다.

콘택트 팁 신뢰성 규격 RS D 0031에 명시된 콘택트 팁의 수명 예측을 위한 '한계수명'을 본 연구에서 제작한 콘택트 팁에 적용해 예상 수명 시간을 계산하였다. 한계수명이란 홀 면적의 증가량이 45%에 이르는 시점을 팁의 수명을 다한 것으로 간주하여 이에 이르기까지 송급된 와이어의 총 길이를 한계수명이라 말한다. 이러한 정의에 따르면 본 연구에서 제작한 콘택트 팁의 한계수명을 실험적으로 도출하기 위해선 장시간의 용접을 수행해야 하기에 이를 대신해 평가 규격에서 제시한 한계수명 추정을 도입해 콘택트 팁의 한계수명을 계산하였다. 한계수명의 추정을 위해선 4시간 용접 실험을 통해 Fig. 8과 같이 와이어 송급 길이에 따른 팁 홀 면적의 증가량 그래프를 그린 후 송급 길이를 로그함수로 취하여 Fig. 9와 같이 결과를 재구성하였다. 재구성한 그래프의 실험값을 연장하면 홀 면적의 증가량 45% 지점에서 교차하게 되고 이때 교차하는 위치에서의 송급 길이를 한계수명으로 추정한다[10].

본 연구에서 제작한 가공 콘택트 팁의 한계 수명 계산결과 약 10,000 km 정도의 한계 수명을 가졌으며, 이는 기존 일반 콘택트 팁 중 가장 높은 한계수명을 보인 지르코늄 팁 보다 10배 정도 수준으로 가공 콘택트 팁이 상당히 높은 내구성을 갖는 걸 확인할 수 있었다.[8]

Table 5 Contact tip IACS

Cycle	IACS(%)			
	1	2	3	Avr.
0	76.12	74.52	75.59	75.41
1	73.21	74.15	75.35	74.23
2	73.82	73.29	74.60	73.90
3	75.26	75.66	75.72	75.54
4	76.21	75.98	75.17	75.79

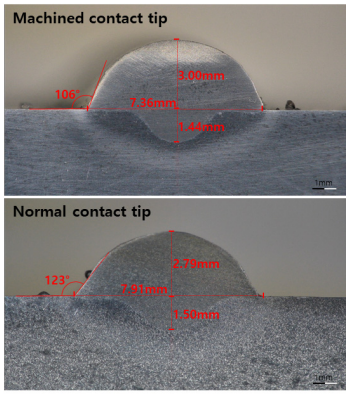


Fig. 10 Macro-photograph of a sectioned bead geometry: machined contact tip(up) & normal contact tip(down)

3.4 가공 콘택트 팁 용접 통전 특성 평가

용접 중 안정적인 아크를 유지하기 위해선 와이어에 일정한 전류가 공급되어야하며, 이를 위해선 콘택트 팁의 통전 안정성이 중요하다. 가공 콘택트 팁의 통전 안정성을 확인하기 위해 팁 끝단에서 IACS(international annealed copper standard, 이하 IACS)를 매 Cycle 마다 3번의 측정 후 평균값을 구하였으며, 이에 대한 결과를 Table 5에 정리하였다.

가공 콘택트 팁의 IACS 평균 값은 약 75%로 가공 전 콘택트 팁 IACS 평균 값인 80%보다 감소했으나 연속 용접 실험 이후에도 일정한 IACS 값을 유지하였다. 이는 높은 내마모성을 가진 가공 콘택트팁의 특성으로 용접 후에도 콘택트 팁의 마모 발생이 기존의 콘택트 팁보다 크게 줄어들어 장시간 용접에도 일정한 전류를 와이어에 인가해 안정적인 아크를 유지할 수 있을 거라 판단된다.

3.5 가공 콘택트 팁 용접품질 평가

Fig. 10을 보면 연속 용접 실험 조건에서 가공 콘택트 팁을 적용한 용접부 단면은 기존 콘택트 팁을 적용한 용접부 단면과 비교했을 시 용입 깊이는 유사하게 나왔으나, 낮은 토우각과 높고 좁은

Fig. 11 Top bead appearance with worn machined contact tip

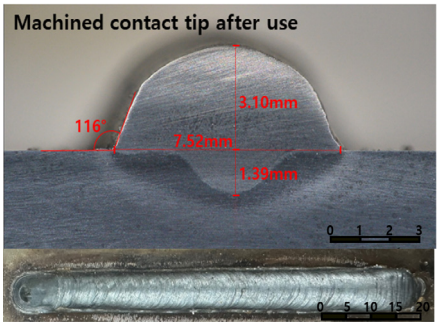


Fig. 12 Macro-photograph of a sectioned bead geometry & Top bead appearance of worn normal contact tip

비드 형상을 띄었다. 이는 가공 콘택트 팁이 기존 콘택트 팁보다 상대적으로 낮은 통전성으로 인해 와이어에 인가되는 전류가 낮아 모재에 가해지는 열이 감소했기 때문이라 판단된다.

기존 콘택트 팁을 2시간 용접 실험을 진행 하면 약 28% 정도 홀 면적이 증가하였으며, 마모가 된 기존 콘택트 팁을 적용해 용접을 진행하면, Fig. 11과 같이 사행 비드, 비드 밀림 등이 발생해 불안정한 용접 비드가 생성되었다. 이는 마모된 콘택트 팁에 의해 일정한 전류가 와이어로 전달되지 못해 불안정한 아크가 형성되었고 와이어 선단의 위치가 용접선을 벗어났기 때문이다. 반면 가공 콘택트 팁은 2시간 용접 후 약 2% 정도 홀 면적이 증가하였으며, Fig. 11과 같은 일정한 비드표면과 용접단면을 갖는 용접부를 얻을 수 있었다.

4. 결 론

연구를 통해 일반적인 콘택트 팁 내부에 STS304 소재의 관을 삽입한 새로운 형태의 콘택트 팁을 개발하여 기존 콘택트 팁과의 내마모 및 내구성 등에 대한 특성을 비교 분석하였다. 와이어 송급 실험을 통해 기존 콘택트 팁 대비 STS304 관을 삽관한 콘택트 팁은 홀 면적의 증가량이 약 96% 감소하였으며, 용접 시에도 약 92% 홀 면적의 증가량이 감소하였다. 가공 콘택트 팁의 한계수명은 기존의 콘택트 팁 대비 10배 정도 높은 약 10,000 km의 높은 한계 수명을 갖는 걸 확인 할 수 있었다. 통전 특성은 기존 콘택트 팁과 비교했을 시 가공 콘택트 팁이 일부 감소하였지만 용접 전후 일정한 통전 성능을 유지했으며, 장시간 용접에서도 일정한 비드 표면과 용접단면을 얻을 수 있었다.

본 연구에서 제작한 콘택트 팁은 기존 콘택트 팁보다 뛰어난 내마모성을 가지고 있는걸 확인하였으며, 장기간 사용이 가능해 용접 공정 라인에서 콘택트 팁 교체로 인해 발생하는 문제점을 최소화할 수 있을 것이다.

후 기

이 연구는 2021년도 산업통상자원부 및 산업기술평가관리원(KEIT) 연구비 지원에 의한 연구임(‘20014618’)

References

[1] Kim, H. J., Kim, N. H., Ryoo, H. S., Koh, J. H., 2003, Reliability of Contact Tip for Gas Metal Arc Welding, Journal of Welding and Joining, 21:7 9-17.

[2] Kim, N. H., Kim, K. H., Kim, H. J., Ryoo, H. S., Koh, J. H., 2004, Variation of Microstructure and Hardness of Contact Tips during GMA Welding, Journal of Welding and Joining, 22:1 43-49.

[3] Koh, J. H., Kim, N. H., Kim, H. T., Hwang, Y. H., 2011, Effect of the Wear of Contact Tips on the Weld beads made by GMAW Process, Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society, 12:5 2019-2024, https://doi.org/10.5762/KAIS.2011.12.5.2019.

[4] Kim, N. H., Kim, H. J., Ryoo, H. S., Koh, J. H., 2004, Prediction on the Wear Resistance of Contact Tips for GMA Welding, Journal of Welding and Joining, 22:4 35-42.

[5] Kim, H. J., 1993, Trend of Welding Technologies for Improving Productivity, Journal of Welding and Joining, 11:4 1-9.

[6] Villafuerte, J., 1999, Understanding Contact Tip Longevity for Gas Metal Arc Welding, Welding Journal, 78:12 29-35.

[7] Adam, G., Siewert T. A., Quinn T. P., Vigliotti, D. P., 2001, Contact Tube Temperature during GMAW, Welding Journal, December 2001, 37-41.

[8] Kim, N. H., Kim, H. J., Ryoo, H. S., 2005, Life Time Prediction of Contact Tips for GMA Welding, Journal of Welding and Joining, 23:4 1-6.

[9] Kim, H. J., Yoo, H. S., Kim, N. H., 2006, Self-Controlled Contact Tips for Automatic Welding, KR Patent: 10-2004-0085595.

[10] RS, 2004, Contact Tip for Gas Metal Arc Welding, RS D 0031, Korea Reliability Certification Center, Korea.

Seung-Cheol Shin
A Researcher at the Institute for Advanced Technology.
His research interest is Welding.
E-mail: shin950925@iae.re.kr

Byeong-Ju Jin
A Senior Researcher at the Institute for Advanced Technology.
His research interest is Welding.
E-mail: bjjin@iae.re.kr

Woo-Hyun Gung
CEO of Liebeko co., Ltd.
His research interest is Welding Metallurgy.
E-mail: sendung@daum.net