

Al합금에 대한 극성 및 주파수 가변 AC TIG 용접특성에 관한 연구

A Study of Variable Polarity and Frequency AC TIG Welding Characteristics for Aluminum Alloy

탁 정수*, 고 미혜*, 조 상명**

* 부경대학교 대학원 소재프로세스공학과

** 부경대학교 신소재공학부 생산기공공학전공

1. 서 론

Al 합금은 일반적인 연강에 비해 선팡창계수가 2배 높고, 열전도도가 5배 크고, 모재 표면에 Al_2O_3 (용융점 2072°)가 존재하기 때문에 용접의 적용이 어려워진다.

극성가변 TIG 용접은 Al합금에 이상적인 아크용접법이다. 텅스텐전극이 (+)인 DCEP에서는 클리닝효과가 일어나고, 텅스텐전극이 (-)인 DCEN에서는 깊은 용입을 얻을 수 있다. TIG 용접은 대체로 정전류제어에 의하여 이루어지므로 전류는 일정하게 제어된다. 그러나, 실제로 AC TIG 용접을 행하는 경우에는 아크가 자주 꺼지므로 그 안정성평가는 매우 중요하지만 아직 그 평가 방법이 개발되지 못한 형편이다.

본 연구에서는 Al합금에 대한 극성가변 TIG 용접을 수행하여 아크안정성을 전류변동계수에 의해 정량적으로 평가하는데 그 목적을 두었다.

2. EN 극성비 정의

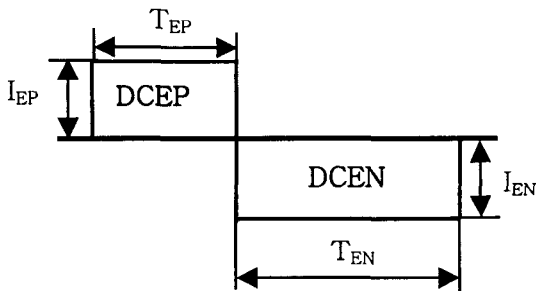


Fig. 1 Current waveform in AC TIG

Fig. 1과 같이 극성가변 AC TIG 용접전류는 DCEP와 DCEN으로 나뉜다.

식 (1)에 의해 EN 극성비를 조절하여 Al에 대한 극성가변 TIG의 특성을 알아보려고 한다.

$$EN \text{ 극성비} = \frac{I_{EN} \times T_{EN}}{I_{EP} \times T_{EP} + I_{EN} \times T_{EN}} \times 100(\%) \quad (1)$$

3. 이상적 전류 파형에 대한 아크안정성 정의

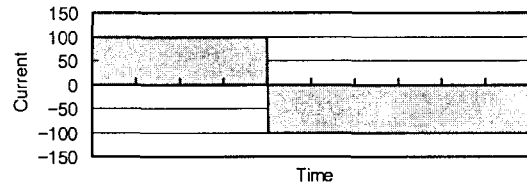


Fig. 2 Ideal AC current 1cycle(EN ratio 60%)

Fig. 2는 EN 극성비 60%이고, 실효전류 100A인 이론 전류파형 1cycle이다.

$$\text{기준실효전류, } I_{rms} \text{ (A)} = \left(\frac{1}{t_a} \int_0^{t_a} i^2 dt \right)^{1/2} \quad (2)$$

$$\text{전류표준편차, } I_{SD} = \left\{ \frac{1}{t_a} \left(\int_0^{t_a} (i - I_{rms})^2 dt \right) \right\}^{1/2} \quad (3)$$

(t_a : 총 아크 시간, i : 전류(A))

Fig. 2 교류파형의 실효전류는 (2)식과 같이 기준실효전류로 계산하면 100A가 된다. 식 (3)의 표준편차는 전류의 출력안정성 정도를 나타내는 값이다. 표준편차와 기준실효전류를 알면 식 (4)와 같이 전류변동계수를 구할 수 있다.

$$\text{전류변동계수 (CiV)} = \frac{\text{전류표준편차}(I_{SD})}{\text{기준실효전류}(I_{rms})} \quad (4)$$

이상적인 구형파에서 아크 꺼짐 시간 t_{ae} (Arc extinct time) 동안 아크가 꺼졌을 때 I_{SD} 와 CiV를 구하면 다음과 같다.

$$I_{SD} = \left\{ \frac{1}{t_a} \int_0^{t_{ae}} (I_{rms})^2 dt \right\}^{1/2} = \left\{ \frac{1}{t_a} \int_0^{t_{ae}} (I_{rms})^2 dt \right\}^{1/2} = I_{rms} (t_{ae}/t_a)^{1/2}$$

$$CiV = \frac{I_{rms}}{I_{SD}} = (t_{ae}/t_a)^{1/2} = \sqrt{R_{aet}} \quad (5)$$

여기서, R_{aet} : Arc extinct time ratio

Cho의 연구에서는 SMAW에서 아크안정성 지수를 용접저항의 변동계수(Coefficient of Resistance Variation, CRV)로서 사용하였지만, 대부분의 TIG 용접기는 정전류타입의 Inverter전원이 주류를 이루고 있다. 그래서,

아크안정성은 전류변동계수(Coefficient of current Variation, CiV)로 나타낼 수 있다.

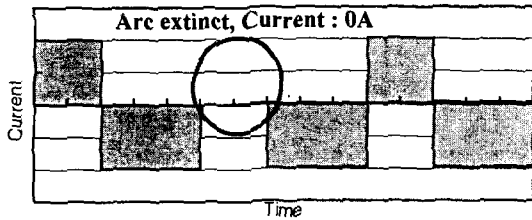


Fig. 3 Ideal current wave with arc extinct time

Fig. 3은 아크 꺼짐이 있는 이상적인 출력전류의 파형이다. 아크가 꺼지면 전류값이 0A가 되고, 아크가 불안정해진다.

식 (4)에서 아크가 완전히 꺼지면 전류표준편차 0, 실효전류가 0이 되는 불능상태가 된다. 따라서, 전류표준편차는 아크 꺼짐이 없을 때의 기준 실효전류(I_{rms})를 적용하여 구한 편차를 써야 한다. 그러므로, 완전히 아크가 꺼진 상태에서의 전류표준편차는 100, 기준실효전류는 100A이므로 전류변동계수는 1이 된다. 식 (5)와 같이 전류변동계수는 아크 꺼짐 시간 비율(R_{act})로 나타낼 수 있다.

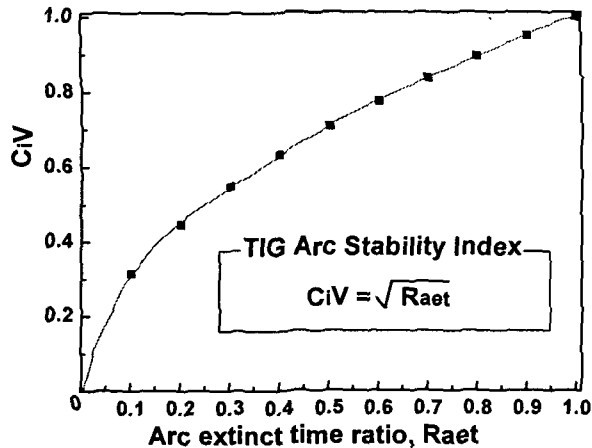


Fig. 4 Variation of CiV for arc extinct time ratio

Fig. 4는 아크 꺼짐 시간비(R_{act})와 전류변동계수와의 관계를 나타낸 것이다. 아크 꺼짐 시간비 R_{act} 가 증가함에 따라 전류변동계수(CiV)는 평방근에 비례하여 증가하고 있다.

R_{act} 가 0일 때 즉 아크가 안정적일 때 전류변동계수(CiV)는 0이고, R_{act} 가 1일 때 즉 아크가 완전히 꺼져있을 때 CiV는 1이 된다. 그래서, 모든 TIG 아크안정성은 CiV로서 평가할 수 있고, CiV는 0과 1사이에 존재한다.

3. 실험재료 및 실험방법

3.1 실험재료

실험에 사용된 모재는 두께 3mm의 Al합금(Al 5052)이다.

3.2 실험방법

아크안정성을 평가하기 위해 AC의 EN 극성비를 60%, 80%, 95%로 결정하여 실험하였다.

Table 1은 용접조건을 나타낸 것이다.

Table 1 Welding conditions

Welding process	Welding current	Electrode (dia.,mm)	Welding speed	Shielding gas	Electrode tip angle
Variable Polarity AC TIG	80(A)	Pure-W ThW (Φ3.2)	15 (cm/min)	Ar (15ℓ/min)	45(°)

Fig.5 Configuration of specimen for welding

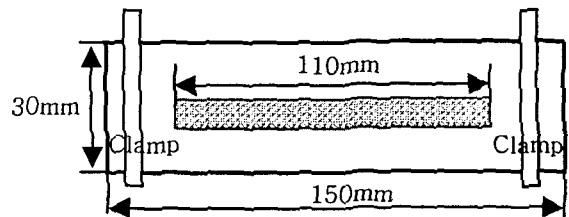


Fig. 5는 시험편의 형상을 나타내었다. 모재의 길이방향으로 비드온플레이트 용접을 하였다.

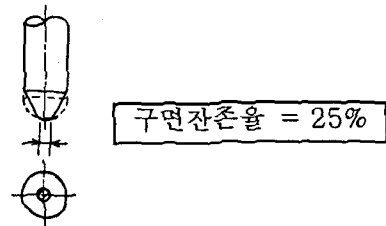


Fig. 6 The shape of electrode with spherical

Fig. 6에서와 같이 UKITA Shizuo등의 연구에 의하면 구면잔존율 25%가 적정 용접범위가 가장 넓었으므로 전극봉은 구면잔존율 25%로 하였다.

아크길리와 EN 극성비에 따른 Pure-W전극봉과 ThW전극봉의 아크안정성을 알아보았다.

이 때, 주파수는 Al합금 용접 시 용접부내에 기공 발생량이 적은 20Hz로 설정하였다.

출력주파수가 증가하면 전류가 0점을 통과하는 횟수도 비례하여 높아지므로 출력주파수에 따른 전류변동계수변화를 검토하였다. 아크 모니터링 시스템(WAM4000N)을 사용하여 전류파형 관찰, 실효전류, 표준편차 등을 측정하여 아크안정성을 평가하였다.

4. 실험결과 및 고찰

4.1 AC TIG 출력 전류파형

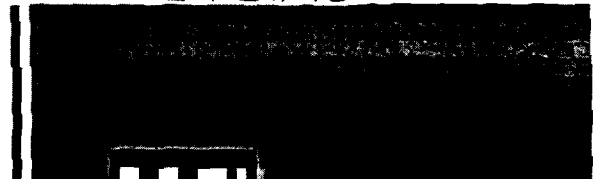
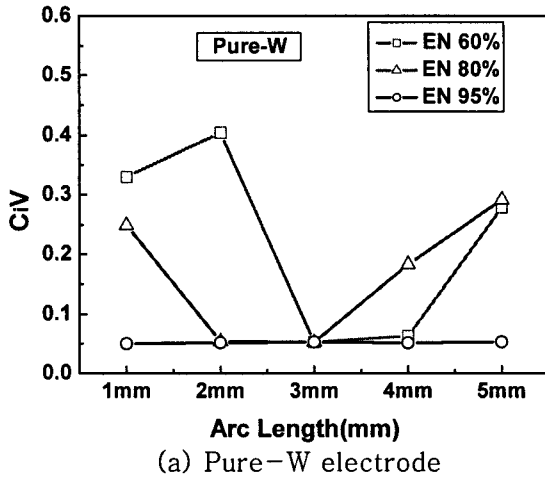


Fig. 7 Typical current waveform for AC TIG (EN ratio 60%, 0.5sec)

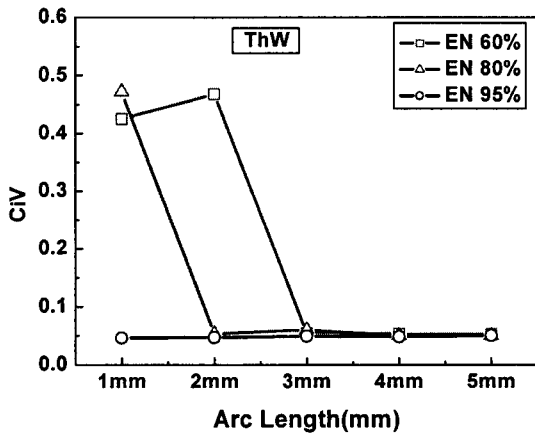
Fig. 7은 EN 극성비 60%에서 얻은 AC

TIG 파형이다.

4.2 텅스텐 전극 재질에 따른 아크안정성



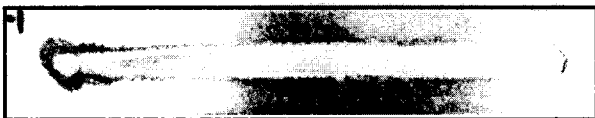
(a) Pure-W electrode



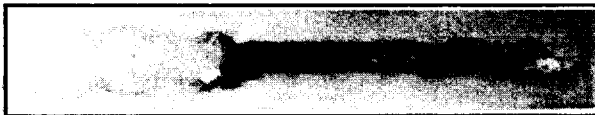
(b) ThW electrode

Fig. 8 Variation of CiV by arc length and EN ratio for electrode materials(80A)

Fig. 8은 Pure-W과 ThW전극을 써서 용접했을 때 EN 극성비와 아크길이에 따른 전류변동계수(CiV)를 나타낸 것이다. 아크길이에 따른 CiV는 EN 극성비가 증가할수록 낮아지고, ThW 전극이 더 안정적이다.



(a) Pure-W electrode



(b) ThW electrode

Fig. 9 Bead shape for EN ratio 95% and arc length 4mm

Fig. 9는 EN 극성비 95%, 아크길이 4mm에서 Pure-W전극과 ThW전극으로 비드온플레이트 용접을 한 후의 비드외관이다. Fig. 8에서

ThW이 CiV가 낮아 아크안정성은 좋지만, Fig. 9에서 비드외관이 불량한 것을 알 수 있다. 즉, 순텅스텐에 의하면 아크안정성은 다소 나쁘지만 비드외관이 양호하게 얻어졌다.

4.3 주파수변화에 따른 아크안정성

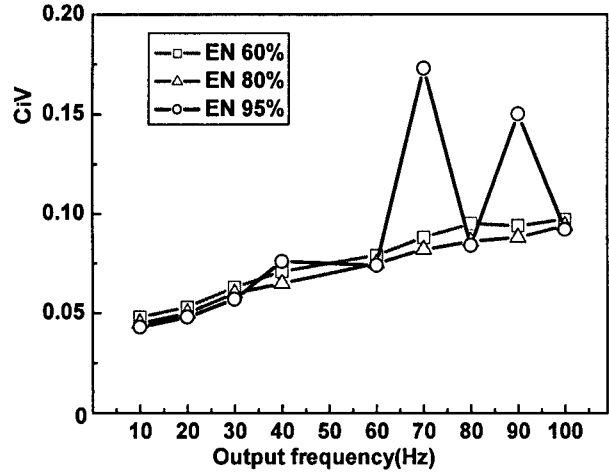


Fig. 10 Variation of CiV by output frequency and EN ratio(arc length 3mm, 80A, 3sec)

Fig. 10은 아크꺼짐이 없는 안정된 아크 상태에서 주파수와 EN 극성비에 따른 CiV의 변화이다. 주파수가 증가할수록 CiV는 증가한다. 용접기의 출력성능이 안정적이라면 출력주파수가 증가되어도 CiV는 일정해야 된다. CiV가 주파수에 따라 거의 비례하여 증가되는 것은 Zero-cross근방의 전류가 낮기 때문이다. 그러므로, CiV로 용접기의 성능평가가 가능한 것으로 판단된다.

5. 결 론

Al합금에 대한 극성가변 TIG 용접을 수행하여 다음과 같은 결론을 내렸다.

- 1) 극성가변 AC TIG 용접기의 아크 안정성은 전류변동계수에 의하여 평가할 수 있다.
- 2) 본 연구에서 사용한 용접기에서는 EN 극성비가 작을수록 전류변동계수가 증가하여 아크는 불안정해졌다.
- 3) Zero-cross근방의 전류가 낮을수록 출력주파수 증가에 따라 전류변동계수는 증가하므로 용접기의 출력성능평가를 위해 응용할 수 있다.
- 4) ThW전극은 Pure-W보다 아크 안정성은 우수하였지만, 용접부의 비드외관은 불량하였다.