

論 文

大韓熔接學會誌
第2卷第1號 1984年3月
Journal of the Korean
Welding Society
Vol. 2, No. 1, Mar., 1984

용입과 비이드 폭에 미치는 전자 비임 용접 변수의 영향

김속환* · 강춘식** · 윤종원*** · 황선호***

Effects of Welding Parameters on Bead Width and Penetration
in Electron Beam Welding

by

S. H. Kim*, C. S. Kang**, J. W. Yoon***, S. H. Hwang***

Abstract

In order to investigate the predominant factors which determine penetration depth and bead width in electron beam welding, bead-on-plate welding was carried out using 7075-T6 Al alloy.

The results obtained from the present experiments can be summarized as follows:

- 1) With increasing accelerating voltage, bead width (B.W) decreases but penetration increases remarkably.
- 2) Increasing beam current results in increase of bead width and penetration respectively, and decrease of the ratio of penetration increment to beam current increment.
- 3) With increasing welding speed penetration decreases remarkably, while bead width increases.

1. 서 론

오늘날 용접법의 발달과 더불어 활발히 연구되고 있는 전자 beam 용접법은 열원으로써 전자 beam을 사용하기 때문에 종래의 용접법에 비해 훨씬 큰 출력 밀도(아아크 용접의 100~100,000배)를 가지고 있다. 그리고 전자 beam 용접시 beam이 충돌한 곳에서는 용융, 비등, 비산 과정 즉 천공 현상이 일어나서 깊고 좁은 beam hole를 만들기 때문에 깊고 좁은 용착 금속(P/W=10~30)을 만든다.^{1,2)} 따라서 입열이 일반적인

아아크 용접에 비하여 작고 좁은 열 영향부를 만들기 때문에 용접 변형이 극히 적은 고정밀도 용접이 가능하다.

그리하여 모든 산업 분야로 그 적용 범위가 확대되고 있으며, 이제까지의 주된 대상이었던 부품류에 국한되지 않고 대형 구조물대까지 그 영역을 확대해 가고 있다.³⁾

이러한 전자 beam 용접에서는 가속 전압, beam 전류, 용접 속도 같은 용접 변수들을 개별적으로 조절할 수 있기 때문에 이들 변수들을 조절함으로써 원하는 용입과 폭을 갖는 용접 bead를 얻을 수 있다. 그러므

* 서울대 대학원 (현 포항종합제철), 학생회원

** 서울대 공과 대학, 정회원

*** 한국기계연구소 용접기술실, 정회원

로 용접 변수와 bead 모양 사이의 상관 관계를 아는 것이 필요하다.⁴⁾

본 연구에서는 가속 전압, beam 전류, 용접 속도를 변화시켰을 때 용입과 bead 폭에 미치는 영향을 조사하였다.

2. 실험

본 실험에서 사용한 재료는 삼선공업 제품의 7075-T6 Al 합금 압출재로 화학 성분은 Table 1에 나타내었다.

Table 1. Chemical composition of materials (Wt%)

| Cu | Si | Fe | Mg | Mn | Cr | Zn | Al |
|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 1.62 | 0.08 | 0.19 | 2.41 | 0.05 | 0.25 | 5.60 | bal. |

압출 관재 표면의 산화 피막과 불순물을 emery paper 로 제거하고 solvent로 기름류를 제거하였다.

이렇게 세척된 시편을 각 용접 변수(V_a , I_b , v)들이 bead 폭과 용입에 미치는 영향을 알아보기 위해 WENT GATE社 제품의 6KW(60KV, 100mA)짜리 전자 beam 용접기를 사용하여 7.5×10^{-3} torr의 진공 chamber 내

Table 2. Bead-on-plate welding conditions.

| Beam Current(I_b) mA Weldng Sped(v) mm/min | Accelerating Voltage (V_a) KV | Heat Input (J/mm) |
|---|-----------------------------------|-------------------|
| 55 mA 1,200 mm/min | 39.8 | 109.5 |
| | 49.2 | 135.3 |
| | 59.3 | 163.1 |
| Accelerating Voltage (V_a) KV, Welding Speed(v)mm/min | Beam Current (I_b) mA | Heat Input (J/mm) |
| 59.3 KV 1,200 mm/min | 53.2 | 157.7 |
| | 64.2 | 190.4 |
| | 76.6 | 227.1 |
| | 84.8 | 251.4 |
| Accelerating Voltage (V_a) KV, Beam Current(I_b) mA | Welding Speed(v) mm/min | Heat Input (J/mm) |
| 59.3 KV 56.2 mA | 360 | 555.4 |
| | 480 | 416.6 |
| | 600 | 333.3 |
| | 798 | 250.6 |

에서 압출 방향에 수직하게 bead-on-plate 용접하였다. bead-on-plate 용접 조건은 Table 2에 나타내었다.

bead 폭과 용입을 측정하기 위해 Vickers hardness tester를 사용하였다. 측정 방법은 먼저 용입 방향으로 일정 간격이 되도록 압흔 자국을 내어 용입을 측정하고 이를 2등분한 곳에서 bead 폭 방향으로 일정 간격이 되도록 다시 압흔 자국을 내어 bead 폭을 측정하였다.

3. 실험 결과 및 고찰

3.1 가속 전압의 영향

Fig. 1은 beam 전류와 용접 속도를 일정하게 하고 가속 전압을 변화시켰을 때 bead부의 용입(P), bead 폭(W), P/W의 변화를 나타낸 것이다. 이 그림에서 가속 전압이 증가할수록 bead 폭은 감소하는 경향을 보이는 반면에, 용입은 상당히 증가하고 있다. 이 원인의 한 가지는 전자와 진류·인력(current attraction) 사이의 정전기적인 반발력의 합력(F)이 감소하는 데 있다.

다음 식(1)에서⁴⁾ 알 수 있는 바와 같이 F는 가속 전압이 증가할수록 감소하는 것을 알 수 있다.

$$F = \frac{ne^2}{2\pi\epsilon_0} \cdot \frac{1}{v} \cdot \frac{1}{r} \left(1 - \frac{v^2}{c^2}\right) \dots\dots\dots(1)$$

- 여기서 n : Number of electron per second.
- c : Light velocity (3×10^{10} cm/sec).
- v : Electron beam velocity (cm/sec).
- r : Beam radius.

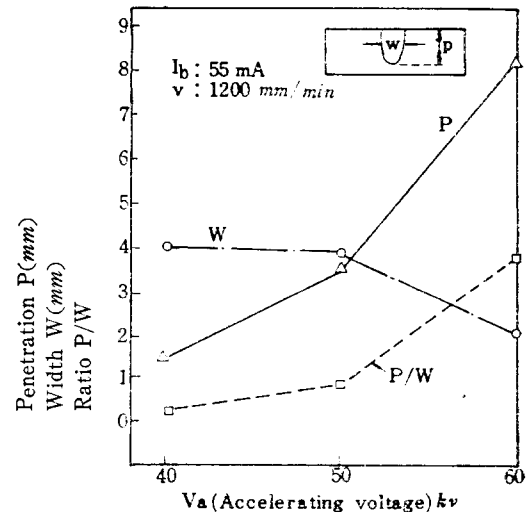


Fig. 1. Characteristics of bead section in E. B. W.

F 의 값이 감소하면 beam current 직경은 더욱 작아지며 고밀도로 되기 때문에 bead 폭은 감소하고 용입은 깊어진다.

또다른 이유는 beam 지름을 d_b , 에너지 밀도를 W 라 하면 다음 식으로부터 알 수 있다.⁵⁾

$$d_b = K_1 \left(\frac{I_b^{1.35}}{V_a^{2.55}} \right) \dots\dots\dots(2)$$

$$W_b = K_2 \left(\frac{V_a^{5.1}}{I_b^{1.7}} \right) \dots\dots\dots(3)$$

여기서 K_1, K_2 : 상수

V_a : 가속 전압

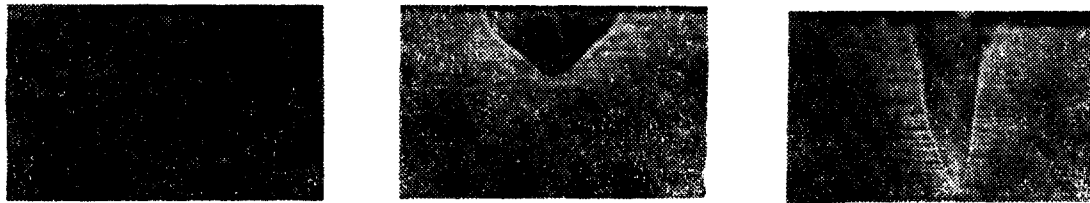
I_b : beam 전류

식(2), (3)으로부터 V_a 가 증가함에 따라 d_b [∞ bead

폭]는 감소, W_b [∞용입]는 급격히 증가함을 알 수 있다.

Fig. 1에서 50KV를 기점으로 bead 폭(W)이 급격히 감소하고 용입이 급격히 증가한 것을 알 수 있다. 이것은 50KV에서부터 beam 직경이 critical하게 줄어들고 입열량이 증가하기 때문이라고 생각된다. 따라서 좁고 평행한 용착 금속이 요구될 때 beam density를 최대로 해야되며, 그렇게 하기 위해서는 가속 전압을 증가시키는 것이 좋다는 것을 알 수 있다.

Photo. 1은 beam 전류와 속도를 일정하게 하고 가속 전압을 40~60KV로 변화시켜 bead-on-plate 용접했을 때 bead 형상을 나타낸 것이다.



(a) $V_a=39.8KV$

(b) $V_a=49.2KV$

(c) $V_a=59.3KV$

Photo. 1. The effect of accelerating voltage on the bead section ($I_b=55mA, v=1,200mm/min$) X4

이 사진에서 알 수 있는 바와 같이 50KV를 기점으로 bead 형상이 급격히 변화함을 알 수 있다. 즉, 60KV에서 가장 bead 폭이 좁고 용입이 깊은 것을 알 수 있다.

3.2 Beam 전류의 영향

Fig. 2는 가속 전압과 용접 속도를 일정하게 유지하고 beam 전류를 변화시켰을 때 용입과 bead 폭과의 관계를 나타낸 것이다.

이 그림에서 beam 전류가 증가함에 따라 용입은 상당히 증가하나 용입의 증가율은 감소하고 있다. 그러나 bead 폭은 약간 증가함을 보이고 있고 critical P/W가 존재함을 알 수 있다. 이는 사용된 가속 전압이 60KV로 크기 때문에, beam 전류가 작은 영역(65mA 이하)에서는 beam 전류가 증가해도 그에 비례하여 beam 직경(∞bead 폭)이 증가하지 않아 beam density가 증가한다. 그러므로 65mA 이하에서는 bead 폭은 약간 증가하나 용입은 상당히 증가했다고 생각된다.

그러나 beam 전류가 65mA 이상으로 증가하면 가속 전압에 의한 전자 beam의 구속력이 적어지기 때문에 65mA 이하에서 보다 beam 직경이 증가하게 된다. 이 때문에 용입이 점차 작은 속도로 증가하여 P/W가 일

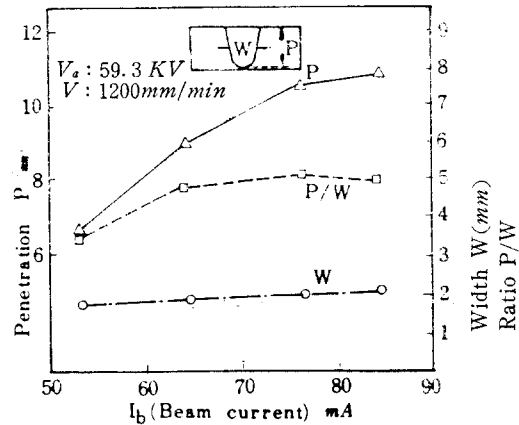


Fig. 2. Characteristics of bead section in E. B. W.

정하게 된다고 생각된다.

Photo. 2는 beam 전류가 증가함에 따라 bead 폭과 용입의 변화를 나타낸 것이다. 이 사진에서 알 수 있듯이 beam 전류가 65mA 이하에서는 bead 폭의 변화는 없지만 용입은 상당히 증가했다. 그러나 beam 전류가 65mA 이상에서는 bead 폭이 더욱 증가했으며 beam 전류가 증가해도 beam 전류가 65mA 이하의 경우보다



(a) 53.2mA (b) 64.2mA (c) 76.6mA (d) 84.8mA

Photo. 2. The effect of beam current on the bead section ($V_a: 59.3KV$ $v: 1,200mm/min$) X4

용입은 훨씬 적게 증가하고 있다.

3.3 용접 속도의 영향

Fig. 3은 가속 전압과 beam 전류를 일정하게 유지

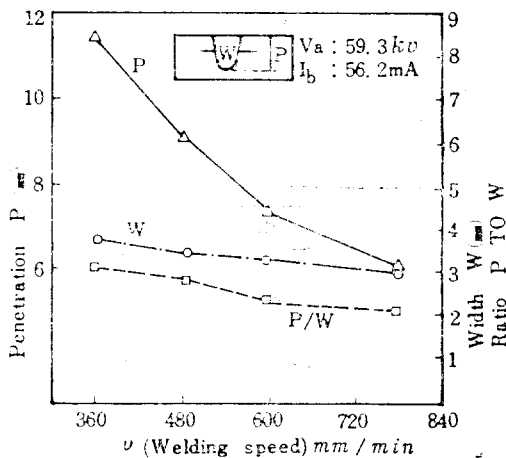


Fig. 3. Characteristics of bead section in E. B. W.

하고, 용접 속도를 변화시켰을 때 bead 폭과 용입의 관계를 나타낸 것이다.

이 그림에서 용접 속도가 증가함에 따라 용입은 현저히 감소하나 bead 폭은 약간 감소하고 있다. 따라서 P/W는 용접 속도가 증가함에 따라 감소하고 있다. 이 이유는 다음과 같이 설명할 수 있다.

가속 전압과 beam 전류 등을 일정하게 유지하고 용접 속도만을 변화시켰기 때문에 beam 직경은 일정한데 비해 식 (4)에서와 같이 용접 속도가 증가하면 용접 열량이 감소한다.

$$\text{Heat input} = \frac{60VI}{v} \text{ (J/mm)}$$

여기서 V : 가속 전압(V)

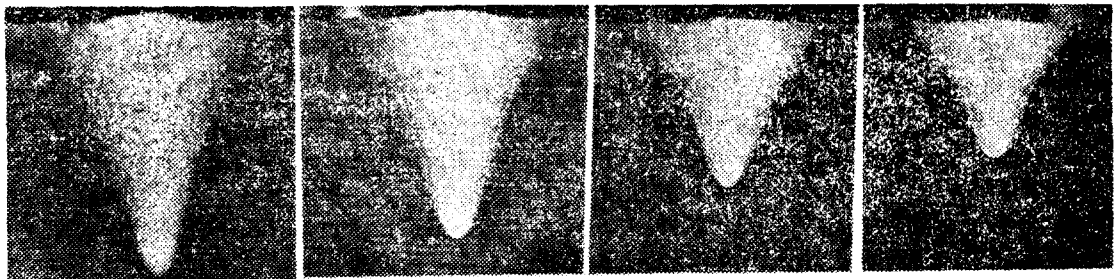
I : beam 전류(A)

v : 용접 속도(mm/min)

60: J/sec를 J/min으로 바꾸기 위한 인자.

그렇기 때문에 용입은 급격히 감소한다고 생각된다.

Photo. 3은 가속 전압과 beam 전류를 일정하게 유지하고 용접 속도를 변화시켰을 때 bead부의 특성을 나

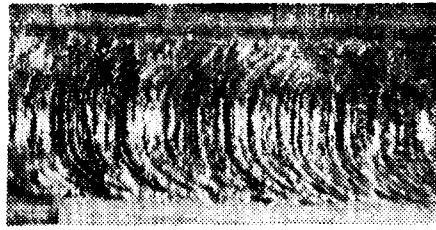
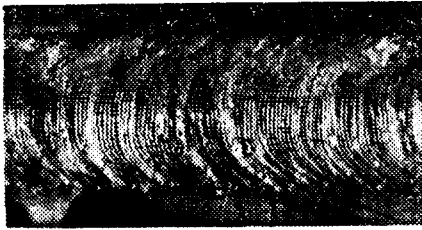


(a) 360mm/min (b) 480mm/min (c) 600mm/min (d) 798mm/min

Photo. 3. The effect of welding speed on the bead section ($V_a: 59.3KV$ $I_b: 56.2mA$) X4

타면 사진이다. 용접 속도가 증가함에 따라 용입은 현저하게 감소하나 bead 폭은 약간 감소하고 있다.

이와 같은 bead-on-plate 용접 조건에서는 Photo. 4와 같이 bead 표면이 아주 매끈하게 잘 나타났다.



(a) $V_a : 59.3KV$ $I_b : 56.2mA$ $v : 480mm/min$

(b) $V_a : 59.3KV$ $I_b : 56.2 mA$ $v : 600mm/min$

Photo. 4. Good bead appearances in bead-on-plate welding X4

4. 결 론

이상의 결과 및 고찰로부터 7075-T6 Al 합금의 경우 용접 변수(V_a , I_b , v)가 용입과 bead 폭에 미치는 영향을 종합하면 다음과 같다.

- 1) 50KV를 기점으로 가속 전압이 증가할 때, 용입은 급격히 증가하였고 bead 폭은 급격히 감소하였다.
- 2) beam 전류가 증가함에 따라 용입 증가율은 점차로 감소하였고, bead 폭은 약간 증가하고 있다.
- 3) 용접 속도가 증가함에 따라 용입은 급격히 저하하였고, bead 폭은 약간 감소하고 있다.

참 고 문 헌

1) *Fundamentals of Welding : Welding Handbook*, AWS, Vol.1, (1976), pp.20~47

- 2) T.Hashimoto and F. Matsuda, *An Equation for Calculating Optimum Welding Condition in Electron Beam Welding*, *Trans. of N. R. I. M.*, Vol.9, No.1, (1967), pp.48
- 3) K.Terai, *Electron Beam Welding of Al Alloy*, *경금속 용접*, Vol.15, No.6, (1977), pp.249
- 4) T.Hashimoto, F.Matsuda and H.Suzuki, *On the Characteristics of Electron Beam Current in E.B.W.*, *Trans. of N. R. I. M.*, Vol.6, No.1, (1964), pp.26
- 5) 荒田吉明, 전자 Beam 용접기술의 현황과 장래 일본용접학회지, Vol.41, No.11, (1972)

1984년도 정기총회 및 추계학술발표대회 개최 안내

1984년도 정기총회 및 추계학술발표대회를 다음과 같이 개최하오니 회원 여러분의 많은 참여 바랍니다.

— 다 음 —

1. 행사 일정 : 1984년 10월 12일 ~ 13일
2. 장 소 : 경남 거제군 장승포읍 아양리 <대우조선공업주식회사>
3. 행사 계획 : 1) 정기총회
2) 특별강연—日本 東北大學 교수, 島田平八 博士 초청 강연
3) 연구발표—논문 및 기술보고 9편
4) 공장견학
4. 교 통 편 : 마산↔장승포 <배편>, 충무↔장승포 <시외버스>, 부산↔장승포 <배편>