

알루미늄 합금의 전자빔용접에서 용입 깊이에 미치는 합금원소의 영향

김성욱·김숙환

Effects of the Chemical Composition on the Depth of Weld in Electron Beam Welding of Aluminum Alloys

Sungwook Kim and Sook Hwan Kim

1. 서론

경량화와 고비강도라는 측면에서 알루미늄 합금은 오늘날의 산업계가 요구하는 에너지 절감 및 고효율화를 동시에 만족시킬 수 있기 때문에 항공재료를 비롯하여 선박 및 자동차 그리고 철도차량에 이르기까지 다양한 분야에 대한 적용이 시도되고 있다. 하지만 알루미늄 합금은 기존의 철강재와 비교하여 수소용해도, 산화피막형성, 열전도도, 열팽창률, 응고수축률 등의 측면에서 크게 차이가 나므로 철강재가 차지하는 부분을 대체하기란 어느 정도 한계가 있다¹⁾.

알루미늄 합금은 일반 금속재료에 사용되고 있는 대부분의 용접법에 의해 용접이 가능하지만 합금의 종류에 따라서는 용접이 난이하므로 용접법의 특징이나 알루미늄 합금의 물성에 대응하는 시공조건의 선정이 필요하다. 여러 용접 프로세스 중에서 전자빔 용접에 의한 열원은 전자의 충돌에너지를 열에너지로 전환시켜 재료를 용융시키는 방식으로, 기존의 아크용접 등의 열원에 비교해서 에너지 밀도가 아주 높고 고밀도의 전자 에너지를 정확하게 제어할 수 있는 특징을 가진다. 또한 에너지 밀도는 높으면서 입열량이 적어서 재료의 뒤틀림을 최소로 하며, 좁고 깊은 용융부를 형성함으로써 후판의 경우도 1 패스로 용접이 가능하고, 진공의 분위기에서 용접이 이루어지므로 깨끗한 용접부를 얻을 수 있는 장점이 있다. 따라서 다량의 열을 급속하게 공급해야 할 필요성이 있는 알루미늄 합금의 용접 시 적당한 용접법이라 할 수 있다²⁻⁴⁾.

알루미늄 합금의 전자빔 용접 적용 시 Zn, Mg 등 증기압이 높은 성분을 함유하는 합금에서는 이들의 증발이 빔홀(beam-hole) 형성을 조장하며 용입을 깊게 한다. 따라서 성분의 미소한 차에 의해 용입특성이 변화되므로 용접조건은 각각의 모재에 대응시켜 선정할 필요가 있다. 또한 용접급속중의 이들 합금성분은 증발에

의해 감소되기 때문에 용접부의 강도가 저하될 수 있다⁵⁾.

2. 용입깊이에 미치는 합금원소의 영향

알루미늄 합금에 대하여 같은 입열조건으로 용접을 하더라도 용입깊이는 Fig. 1과 같이 다르게 나타난다.

알루미늄 합금 A7075와 A5083의 경우 A6061에 비하여 2배 이상의 차이를 보이며 좁고 깊은 용접부를 형성하고 있다. 이러한 경향은 알루미늄 합금이 가지고 있는 합금성분의 차이에 의한 것으로, 용접시 증기압이 높은 합금 성분인 Zn나 Mg이 증발하면서 용입깊이를 증가시킨다고 알려져 있다⁵⁾.

Fig. 2는 이송속도 증가에 따른 용입비를 나타낸 것으로 A7075 및 A5083은 이송속도가 증가함에 입열량이 감소하기 때문에 용입깊이가 줄어들고, 용입비도 감소하고 있다. A6061은 키홀형성에 의한 용융이 아닌 전도성 모드에 의한 용융발생으로 입열량에 따른 큰 차이는 보이지 않는다⁶⁾.

각 합금성분에 대하여 온도에 따른 증기압을 Fig. 3에 나타내었다. 이 그래프는 다음의 수식을 바탕으로 도시하였고, 각 성분은 합금으로 존재하므로 Raoult의 법칙을 적용해야 하지만 여기서는 단순한 비교만을 보이기 위해 생략하였다⁷⁾.

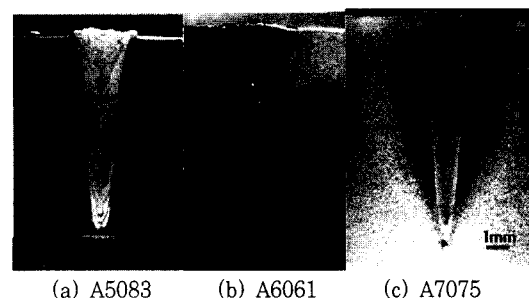


Fig. 1 Transverse cross section of EB welds (120kV, 20mA, 700mm/min.)

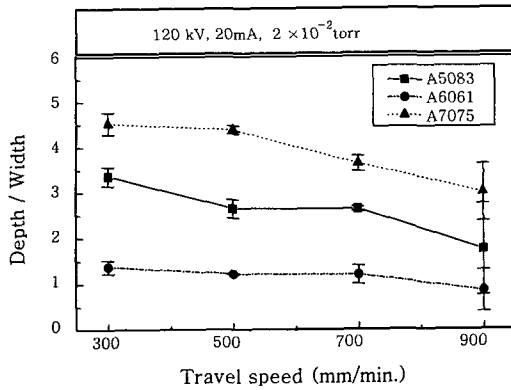


Fig. 2 Aspect ratio(D/W) of aluminum alloys with heat input⁶⁾

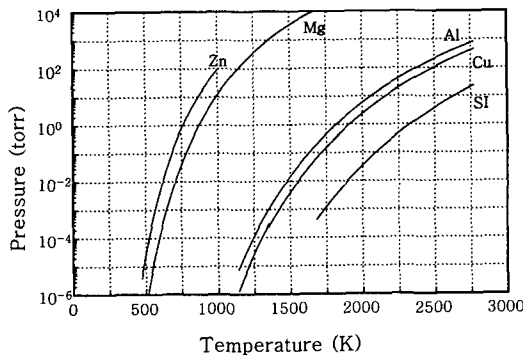


Fig. 3 Vapor Pressure vs. temperature diagram⁶⁾

Vapor pressures(p) :

$$\log p = -\frac{A}{T} + B + C \log T + 10^{-3} DT$$

Fig. 3에서 합금성분간의 증기압을 임의의 온도 1000K에서 비교할 때 A7075와 A5083의 주합금성분인 Zn와 Mg의 증기압은 각각 102 torr와 10 torr임을 볼 수 있고, A6061의 주 합금 성분인 Si의 경우에는 이보다 훨씬 더 낮다. 따라서 위의 증기압을 근거로 알루미늄 합금의 용입깊이는 증기압이 높은 성분인 Zn (5.4wt.%), Mg (2.7wt.%)를 가진 A7075합금이 가장 깊고, 다음이 Mg(4.5wt.%)를 가진 A5083합금이

Table 1 The vapor pressure of elements

element	A	B	C	D	Temp. range K
Al	16450	12.36	-1.023	-	1200-2800
Cu	17870	10.63	-0.236	-0.16	298-1356
	17650	13.39	-1.273	-	1356-2870
Mg	7780	11.41	-0.8555	-	298-m.p.
	7550	12.79	-1.41	-	m.p.-b.p.
Mn	14850	17.88	-2.52	-	993-1373
	13900	17.27	-2.52	-	m.p.-b.p.
Si	20900	10.84	-0.565	-	m.p.-b.p.

됨을 예상할 수 있다. Mg를 1.0wt.%, Si를 0.6wt.% 함유한 A6061합금의 경우에는 다른 두 합금과 비교 시 주 휘발성분인 Mg, Zn의 양이 적기 때문에 같은 조건에서도 가장 낮은 용입깊이를 가짐을 추정할 수 있다⁸⁾.

이와 같은 사실은 각 합금의 주요 원소에 대한 Table 2의 습식 분석결과를 통하여 확인할 수 있다.

Table 2에서 용접 후 모든 세 합금에서 합금 성분의 감소가 있었고, 고진공에서 합금성분이 약간 더 감소하였다. A6061 합금의 경우, 증기압이 높은 합금성분인 Mg의 함량이 다른 두 재료에 비해 적고, 증기압이 낮은 합금성분인 Si를 포함하므로 용입깊이가 다른 두 재료에 비해 낮았음을 확인할 수 있다. A7075의 경우 Mg함량에 있어서는 A5083에 못미치나, Mg보다 증기압이 높은 Zn를 함유하고 있으므로 이 두 성분의 복합 작용에 의해 A5083보다 더 깊은 용입을 얻었다⁸⁾.

한편, 전자빔 용접 시 휘발되는 이와같은 금속증기는 전자총을 오염시켜 음극과 음극 실드(Shield)간의 절연을 저하시키며 전자총 내에 방전이 발생되어 빔전류가 증대되기 때문에 아크홀(arc hole)을 형성한다. 특

Table 2 The Result of wet-element analysis (wt.%)

element	Mg	Si	Zn
A5083-O (B.M.) ¹	4.47	-	-
	L.V (F.Z) ²	3.61	-
	H.V (F.Z)	3.74	-
A6061-T6 (B.M)	1.02	0.62	-
	L.V ³ (F.Z)	0.78	0.32
	H.V ⁴ (F.Z)	0.72	0.29
A7075-T6 (B.M.)	2.67	-	5.41
	L.V (F.Z)	2.41	5.04
	H.V (F.Z)	2.35	4.94

* 1: B.M 모재(base metal). 2: F.Z 용융부(fusion zone)
3: L.V 저진공(low vacuum, 2×10⁻²torr)
4: H.V 고진공(high vacuum, 2×10⁻⁴torr)

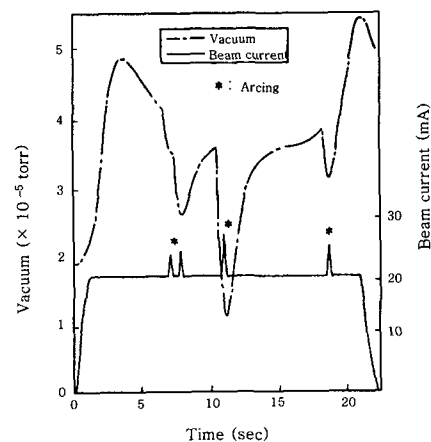


Fig. 4 The relation of arcing and vacuum¹⁰⁾

히 Mg나 Zn함유합금은 아킹이 발생하기 쉽다⁹⁾.

Fig. 4는 진공도에 따라 아크가 발생하는 경향을 나타낸 것이다. 그림에서 보듯이 진공도가 감소할 때 아크가 발생됨을 알 수 있고, 이는 진공도가 낮을 때가 진공도가 높을 때와 비교 시 챔버 내의 불순물 함유가 많기 때문이다. 이러한 아크의 방지는 빔전류의 저하가 유효하며 그 외에 자기 구속(magnetic trap)법을 통한 억제가 적용되고 있다¹⁰⁾.

3. 맺 음 말

전자빔 용접은 후물재를 낮은 변형률로 1 패스로 용접할 수 있다는 측면에서 매력적인 공정이라 할 수 있다. 하지만 진공이라는 특수한 환경하에서 적용되는 공정인 만큼 적용하고자 하는 소재의 특성을 잘 파악하여야 하며, 휘발되기 쉬운 합금원소를 포함하는 알루미늄 합금의 경우 이러한 측면을 더욱 고려하여야 할 것이다.

참 고 문 헌

1. 이창희, 조성석: 대한용접학회지, **14-3** (1996), 93
2. 日本溶接學會: 電子ビーム溶接法および機器, 溶接・接合便覽, (1990), 342
3. 入江宏定: アルミニウムの電子ビーム溶接, 輕金屬溶接, **142** (1974), 354
4. Donald E.Powers: Electron Beam Welding-An Overview Power Beam Processing, ASM,(1988), 25
5. Y.Arata, M.Ohsumi, Y.Hayakawa : Electron Beam Welding of High Strength Aluminum Alloy, ASM, (1986), 441
6. C.H.Lee, S.W.Kim, E.P.Yoon: Sci.&Tech. Wel.& Join. **5** (2000), 277
7. E.A.Brandes, G.B.Brook : Smithells Metals Reference Book, Butterworth-Heinemann, 7th, (1992), 8-54
8. 김성욱, 김숙환, 이창희 : 대한금속학회지 **36**(1998) 1169
9. F.Eichhorn : High Energy Joining, Advanced Joining Technologies, Chapman and Hall, (1990), 3
10. S.Ando, M.Ohkubo : 輕金屬溶接, **30-1** (1992), 12



- 김성욱
- 1973년생
- 포항산업과학연구원 용접센터
- 용접야금 및 이종금속용접/접합
- e-mail : sungwook@rist.re.kr



- 김숙환
- 1959년생
- 포항산업과학연구원 용접센터
- 전자빔용접 및 정밀용접/접합
- e-mail : weldksh@rist.re.kr