

고장력 알루미늄 합금의 전자빔 용접특성에 미치는 합금원소의 영향

The effect of alloying elements in EB welded high tensile aluminum alloys

한양대학교 재료공학부
표면개질 및 접합야금 연구실
김성욱, 이창희

I. 서론

알루미늄 합금은 경량화와 고비강도라는 측면에서 오늘날 산업계가 요구하고 있는 에너지 절감 및 고효율화를 동시에 만족시킬 수 있는 재료로 각광받고 있다. 하지만 알루미늄 합금은 기존의 철강재와 비교하여 열전도도, 열팽창률, 응고수축률 등의 측면에서 차이가 크게 나므로 대량의 열을 급속하게 공급하는 용접법이 필요하다. 또한 용접에서의 큰 수소 용해도 차이는 기공의 형성을 용이하게 하며, 첨가 합금원소 및 빠른 냉각속도로 인한 균열이 발생하기 쉽다. 본 연구에서는 대표적 고장력 알루미늄 합금에 대하여 고밀도 용접법인 전자빔 용접을 적용하고, 용접특성에 영향을 미치는 합금원소에 대하여 고찰해 보았다.

II. 실험방법

본 연구에 사용한 알루미늄 합금은 압출재로써, A5083의 비열처리형 합금과 A6061, A7075의 열처리형 합금이다. 이들 합금의 열처리 조건은 각각 O (A5083) 및 T6 (A6061, A7075)이며, 화학성분의 조성은 다음과 같다.

Table 1 Chemical composition of materials used. (wt.%)

Material	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Ga	Ni	Zn	Ti	Al
5083-O	0.082	0.167	0.019	0.631	4.472	0.121	0.022	0.037	0.017	bal.
6061-T6	0.615	0.189	0.277	0.022	1.021	0.259	-	0.034	0.022	bal.
7075-T6	0.032	0.084	1.608	0.004	2.667	0.246	-	5.414	0.020	bal.

시편은 각 조건에 대하여 1 pass로 용접하기 적당한 규격인 100(L)×36(W)×17(T)mm로 가공하였고, 각 용접변수들이 용접부의 폭과 용입에 미치는 영향을 알아보기 위해 최대출력 15kW의 전자빔 용접기를 사용하여 autogenous, BOP 방법으로 용접을 실시하였다. accelerating voltage는 90, 120, 150kV로, beam current는 10, 15, 20mA, travel speed를 300, 500, 700, 900mm/min으로 변화시켰다. 또한 vacuum chamber의 압력은 low vacuum, high vacuum으로 진공도에 따른 용접조건도 비교하였다. 용접 후 각 합금원소가 용입특성에 미치는 영향을 알아보기 위해 bead에 수직인 방향과 평행한 방향으로 절단한 후, aspect ratio를 구하였다. 또한, 용접부의 microhardness 측정하여 기계적 성질을 검토하였고, 용접

부에서 발생한 각종 결함에 대하여 금속조직학적 분석을 실시하였다.

III. 결과 및 고찰

Travel speed와 accelerating voltage의 변화에 따른 용접부의 aspect ratio를 Fig.1에 나타내었다. Fig.1(a)에서 travel speed가 증가함에 따라 aspect ratio는 감소하고 있다. 이것은 travel speed의 증가에 따라 입열량이 감소하였기 때문이다. Fig.1(b)는 accelerating voltage를 120kV로 증가시킨 반면 beam current를 10mA로 감소시킨 경우로 Fig.1(a)에 비해 입열량이 감소하였기 때문에 aspect ratio가 상당히 감소하고 있고, V형 용접부의 형태를 상실하였음을 볼 수 있다. Fig.1(c)와 같이 accelerating voltage는 120kV로, beam current를 20mA로 증가시킨 경우, 입열량 증가로 인하여 용입깊이는 더욱 증가하였지만 Fig.1(a)와 비교시 aspect ratio에서는 크게 차이가 나지 않음을 볼 수 있다. 주목할 것은 주 합금원소에 따라 aspect ratio에 상당한 차이가 생긴다는 것이다. A7075와 A5083의 경우 A6061에 비하여 2배 이상의 차이를 보이며 V형 용접부를 형성하고 있다. 이러한 경향은 알루미늄 합금 각각이 가지고 있는 합금성분의 차이에 의한 것으로, 용접시 증기압이 높은 합금 성분인 Zn나 Mg이 증발하면서 용입깊이를 증가시킨다고 알려져 있다.¹⁾

용접부의 합금원소 감량을 파악하기 위하여 각 재료의 주요 원소에 대한 습식 분석을 실시한 결과, 용접 후 모든 세 합금에서 합금 성분의 감소가 있었음을 볼 수 있다. 또한, 저진공에서보다 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 있었다. A7075의 경우에는 Mg함량에 있어서 A5083에 못미치나, Mg보다 증기압이 높은 Zn를 함유하고 있으므로 이 두 성분의 복합작용에 의해 A5083보다 더 깊은 용입을 얻은 것으로 사료된다.

전자빔 용접부에서는 바람직하지 못한 여러 가지 용접결함이 발생할 수 있는데, 이것은 porosity, crack, spiking, cold shut과 같은 것들이다.⁽²⁻⁶⁾ 본 연구에서는 전자빔 용접된 알루미늄 합금 내부에서 다양한 형태의 porosity를 관찰할 수 있었다. Fig.2는 이와 같은 다양한 형태의 porosity를 보여주는 것으로, 일반적으로 Fig.2(a)와 같은 구형의 porosity는 용융금속 내 용해되어 있던 수소와 같은 기체가 응고시 완전히 빠져나가지 못하고 잔류함으로써 형성된다. 전자빔 용접의 빠른 냉각속도는 Fig.2(b)와 같은 약 1~2 μ m정도의 interdendritic microporosity를 형성한다. Fig.2(C)는 전자빔 용접된 A7075 합금 내의 spiking과 root cavity를 보여준다. Spiking은 전자빔 용접부의 불규칙한 용입을 말하는 것으로 고밀도 열원 특유의 결함이다. Root cavity는 육안으로 관찰할 수 있을 만큼 큰 크기(100 μ m이상)를 가지며, 내부에 응고시 형성된 수지상 구조와 결정립을 가진다.(Fig.6(d)) 이러한 root cavity의 형성은 용입비에 크게 좌우되며, 증기압이 낮은 합금원소를 함유한 A6061의 경우 용입비가 작으므로 root cavity는 거의 관찰할 수 없었다.

알루미늄 합금의 용접성에 악영향을 미치는 인자로 기공과 함께 균열이 잘 알려져 있다. 알루미늄 합금은 재료자체가 가지는 열전도성, 응고수축률과 같은 물성으로 인하여 solidification cracking과 liquation cracking에 민감하다.⁽⁷⁾ Fig.3은 전형적인 응고 균열을 나타낸 것으로 A7075합금의 용융부에서 발견된 것이다. 균열길이 측정 결과 aspect ratio가 증가함에 따라 TCL(Total Crack Length)도 증가하였으나, MCL(Maximum Crack Length)의 경우는 크게 영향을 받지 않았으며, 균열정도는 합금성분 그 자체의 편석에 의한 저용점상

의 형성에도 어느 정도 영향을 받으나 주로 합금성분에 의한 용입깊이 변화가 더욱 큰 영향을 미치는 것으로 관찰되었다.

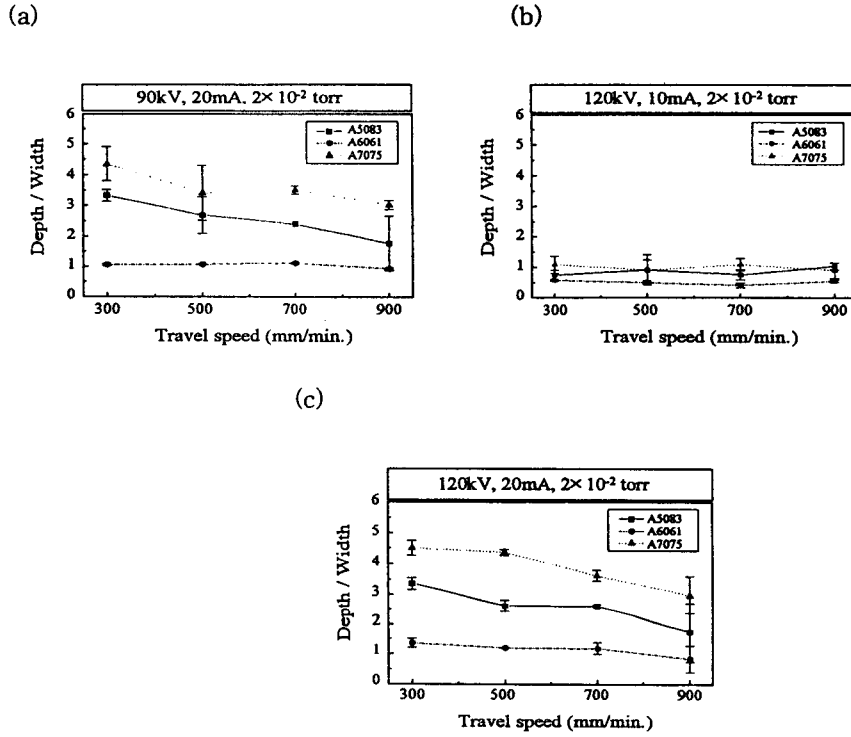


Fig.1 Aspect ratio(D/W) of various materials with heat input.
 (a) 90kV, 20mA (b) 120kV, 10mA (c) 120kV, 20mA

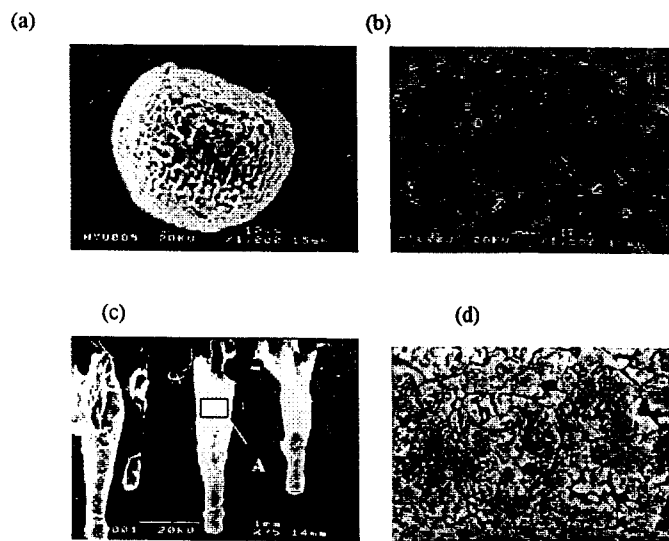


Fig.2 The various shapes of porosities.

- (a) Gas porosity (b) Inter-dendritic porosity
 (c) Root cavity in the spike (d) Magnified of A in (c)

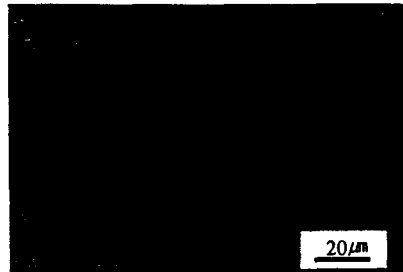


Fig 3. Hot cracking (solidification cracking) in the fusion zone.

IV. 결론

알루미늄 합금에 대하여 전자빔 용접 실시 후 용접부 형태, 미세조직 특성, 기공 및 균열 형태, 용접부의 경도 등의 측면에서 관찰한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. 알루미늄 합금의 aspect ratio는 A7075, A5083, A6061과 같은 순서로 감소하였고, 이는 주 합금원소에 크게 의존하였다.
2. A7075 합금이 A5083과 A6061보다 더 깊은 용입을 얻을 수 있었던 것은 증기압이 높은 Mg과 Zn가 공존하였기 때문이다.
3. Porosity 형성에 대한 양상은 A7075, A5083, A6061과 같은 순으로 감소하였고, 이는 각 합금의 주 합금원소로 인한 aspect ratio차이로 인한 것이었다.
4. 알루미늄 합금의 용접부에서 관찰되는 균열의 대부분은 대부분 root에서 관찰되는 고온 균열이며, 균열정도는 합금원소 그 자체의 편석에 의한 저융점상의 형성에도 어느 정도 영향을 받으나 주로 합금원소에 의한 용입깊이 변화가 더욱 큰 영향을 미친다.

V. 참고문헌

1. Yoshiaki Arata : Plasma, Electron & Laser beam Technology (ASM, 1986), p.441
2. D.G.Howden : Welding Journal, 2(1971), p.112
3. R.F.Ashton, R.P.Wesley and C.R.Dixon : Welding Journal, 3 (1975), p.95s
4. R.A.Woods : Welding Journal, 3(1974), p.97s
5. J.L.Murphy, T.M.Mustaleski,Jr., L.C.Watson : Welding Journal, 1988.9, p.187s
6. G.L.Mara, E.R.Funk, R.C.McMaster, P.E.Pence : Welding Journal, 1974.6, p.246s
7. 이창희, 장래용 : 대한용접학회지, 10(3), (1992. 9)