

경량구조용 Al 합금 전자빔 용접부의 결함 발생거동에 대한 연구

(Formation and properties of discontinuities in the E.B. weld of Al alloys for transportation applications)

김 성 욱* 이 장 희
한양대학교 금속공학과

1. 서 론

오늘날 수송분야에 있어서 에너지의 절감을 위하여 경량화가 추구하고 있으며, 이로 인하여 알루미늄 합금의 적용은 기존의 철강재료를 대신하여 경제적인 경량화 재료로 부상하고 있다. 그러나 알루미늄의 용접성은 철강재만큼 우수하지 못하기 때문에 철강재가 점유하고 있는 영역을 대체하기란 아직도 어려운 실정이다. 이에 본 연구에서는 요즘 수송기기의 경량화로 각광을 받고 있는 여러 알루미늄 합금 중 고속 철도 차량용으로 적용된 A7N01, A6N01, A5083에 대하여 전자빔 용접을 실시하고 용접변수에 따른 용접부의 용입거동과 균열 및 기공발생 거동과의 상관관계를 성분원소 및 원소의 증기압 등으로 설명하고자 한다.

2. 실험방법

본 실험에 사용한 재료는 알루미늄 A5083의 비열처리형 합금과 A6N01, A7N01의 열처리형 합금이며, 화학성분은 Table 1에 나타내었다. 시편의 규격은 100(L)×36(W)×17(T)mm로써 NEC社의 15kW(150kV, 100mA) 전자빔 용접기를 사용하여 압출방향에 평행하게 bead-on-plate 용접을 실시하였으며 용접조건에 따른 균열발생빈도(최고균열 및 총균열 길이)의 변화와 용입량과의 상관관계를 파악하고자 하였다. 각 조건은 Table 2와 같다. 광학현미경으로 균열의 길이를 측정하고 SEM을 이용하여 보다 자세한 관찰을 실시하였다. 또한 EDS 분석을 통해 균열이 전파되는 첨단에 존재하는 성분을 검출하고자 하였다.

3. 실험결과

용접부 균열형태

용접부에서는 여러 가지 균열이 발견되었다. Fig.1은 A7N01합금에서의 용접부에서 발견된 균열을 도시하고 있다. 용접부의 root에 보이는 큰 구멍은 root porosity이고, 용융 및 응고 속도 차이로 인하여 생성된 cold shut도 관찰된다. 전자빔 용접에서의 용융은 keyhole mode에 의해 이루어지며, 이와 같은 용융시 한 번에 root까지 용융되는 것이 아니라 연속적인 용융과정을 거쳐 용입이 형성되므로 응고에 있어서 초기에 용융된 부분과 다음 부분간에 시간적인 차이가 나게 되는데, 이러한 응고의 시간적 차이에 의해 생기게 된 불연속부가 바로 이 결함이다. (c)는 cold shut 부분을 확대한 것으로 균열과 마찬가지로 연속적인 결함으로 존재하므로 용접부의 기계적 성질에 나쁜 영향을 미칠 것으로 파악된다.

용접변수에 따른 기공의 크기와 분포

각 재료에 대하여 용접변수에 따른 기공의 크기와 분포를 조사하였다. 기공의 분포는 용접부를 세 부분으로 나누어서 [Top], [Center], [Bottom]으로 구분하였고, 크기는 200 μ m 이상을 [Large], 50 ~ 200 μ m를 [Middle], 10 ~ 50 μ m를 [Small]로 구분하였다. 용접부의 [Bottom]에 존재하는 [small] 분포에 대하여 실험 결과를 Fig.2에 나타내고 있는데 D/W가 증가함에 따라 기공의 수도 비례하여 증가하고 있음을 보여주고 있다. A6N01합금은 D/W가 1전후로 분포하면서 기공의 수도 5이하이나, A7N01합금의 경우에는 입열량이 낮을 때는 D/W가 1주변에서 기공수 5이하로 존재하나, 입열량의 증가는 D/W의 증가와 더불어 기공의 수도 증가하고 있다.

용접변수에 따른 응고 균열 변화

광학현미경을 이용하여 최대균열길이(MCL), 총균열길이(TCL)로 구분하여 도시하였다. Fig.3은

본 실험의 용접변수 및 재료에 대하여 D/W에 대한 TCL과 MCL을 각각 비교한 것이다. 그 결과 총균열길이(TCL)는 용접부의 용입깊이에 비례하는 특성을 가지며 용입깊이를 증가시키는 요인인 입열량 증가, 진공도 증가, 이송속도 감소 등에 의해서 균열이 더 많아지는 양상을 띤다. 특히 같은 입열량을 주더라도 A7N01이 다른 두 재료보다 균열이 더 많고, A6N01의 경우 같은 입열량을 받더라도 합금성분으로 인한 용입깊이가 타 재료보다 작기 때문에 균열이 약간 작은 것으로 보이며, depth를 기준으로 재료들을 비교하면 A6N01의 경우에도 비슷한 양의 균열이 발생하는 것으로 보아 균열양상은 합금성분에도 어느 정도 영향은 받으나 주로 용입깊이에 의존한다고 볼 수 있다. 이는 전자빔의 용접특성상 용입깊이가 깊어짐에 따라 용접부의 V형 root부는 더 뾰족해져서 주위로 열을 더 빨리 방출하기 때문에, 즉 냉각속도가 급속히 증가하기 때문인 것으로 파악되며, 본 실험에서는 균열의 대부분이 root에 존재하는 것을 확인할 수 있었다.

EDS 성분분석

성분분석 결과 A7N01 시편의 균열부에서 일반적으로 용접균열 감수성을 높이는 성분으로 알려져 있는Cu의 편석을 확인할 수 있었고 HAZ부의 액화 균열부에서도 이것을 확인할 수 있었다. A5083의 용접부에서 관찰된 균열에서는 Mg의 편석이 확인됨으로써 Mg가 잔류액상의 존재를 초래하여 고온균열을 발생시켰음을 알 수 있었다.

4. 결 론

이상과 같은 결과에 의하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 용입깊이는 A7N01, A5083, A6N01순으로 나타났다. 이는 각 합금성분들의 증기압차에 기인한다. (증기압 : Zn>Mg>Cu>Si)
2. 용접조건의 변화에도 불구하고 대부분의 용융부에서 기공을 관찰할 수 있었고, 기공수에 대한 양상은 작은 입열량에서 상대적으로 작은 용입비를 보여주는 순서인 A7N01, A5083, A6N01 순으로 나타났다.
3. 균열길이 측정 결과 D/W가 증가함에 따라 TCL도 증가하였으나, MCL의 경우는 크게 영향을 받지 않았다.
4. EB 용접부의 균열은 대부분 root에서 발생하고 균열정도는 합금성분 그 자체의 편석에 의한 저용점상의 형성에도 어느 정도 영향을 받으나 주로 합금성분에 의한 용입깊이 변화가 더욱 큰 영향을 미친다.

5. 참고문헌

1. 이창희, 조성석 : 고강도 알루미늄 합금 용접부의 고온균열 Mechanism, 대한용접학회지, 14-3 (1996.6), p.192
2. Donald E.Powers : Electron Beam Welding - An Overview Power Beam Processing, ASM, 1988, p.25
3. J.Norrish : Electron Beam Welding, Advanced Welding Processes, IOP Publishing, 1992, p.199

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

Material	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Ni	Zn	Ti	Al
A5083	0.082	0.167	0.019	0.631	4.472	0.121	0.022	0.037	0.017	bal.
A6N01	0.615	0.189	0.277	0.022	1.021	0.259	-	0.034	0.022	bal.
A7N01	0.032	0.084	1.608	0.004	2.667	0.246	-	5.414	0.020	bal.

Table 2 Welding conditions applied in this experiment.

Accelerating voltage (kV)	Beam current (mA)	Chamber pressure (torr)	Cl_1	Travel speed (mm/min.)
90	10	2×10^{-2}	0.98	300
120	15			500
150	20	2×10^{-4}		700
				900

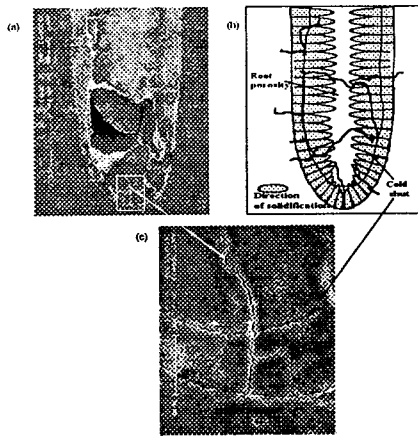


Fig. 1 Various kinds of defect in welds

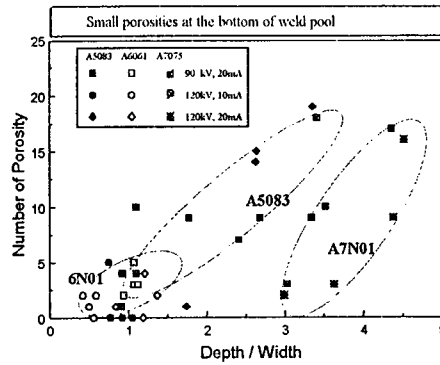


Fig. 2 The distribution of small porosities according to D/W at the bottom of weld pool

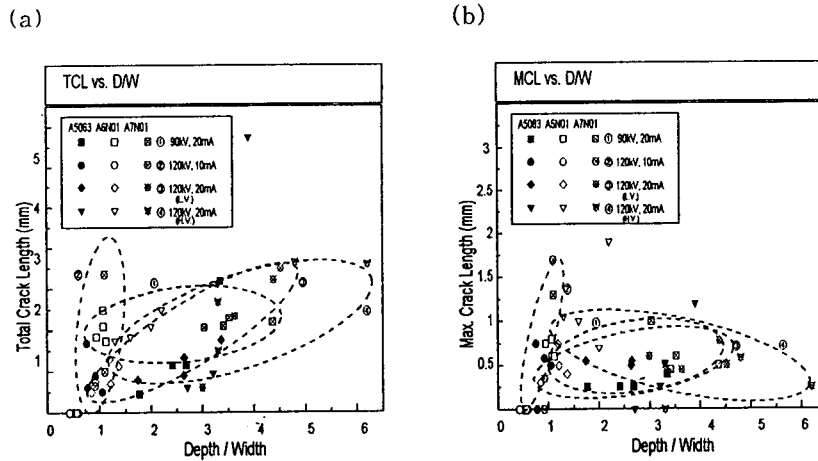


Fig.3 Effect of D/W on (a) TCL (b) MCL