

결정립 미세화제 첨가에 따른 5083 알루미늄 합금의 용접부 특성

Characteristics of weldments according to grain refiners feeding in 5083 Aluminum alloy

윤준태*, 고영봉**, 박경채*
 * 경북대학교 공과대학 금속공학과
 ** 한국 화학시험 연구원, 대구

1. 서론

5083 알루미늄 합금은 비열처리 합금으로는 강도가 가장 우수하며 용접성, 내식성, 가공성이 양호하여 차량 선박, 화학플랜트 등에 적용되고 있다. 그리고, 5083 알루미늄 합금은 면심 입방정(FCC)이기 때문에 강과 같은 저온 취성이 없다. 또한, 인장 및 항복강도는 온도가 낮아짐에 따라 증가하고, 연신율도 일부 합금(AL-Zn-Mg(-Cu))을 제외하고는 극저온에서도 상온보다 오히려 커져서 저온에서 연성이 증대되는 특성을 가지고 있다. 따라서, 액화천연가스(LNG)나 액체 헬륨용기 등 저온 구조용 재료로 사용된다. 그러나, 5083 알루미늄 합금은 용접성은 우수하나 용접시 용질밴드(solute band)를 따라 기공이 발생하여 용접부위의 기계적 성질 특히, 인성을 크게 저하시키는 결점을 가지고 있다. 이는 저온 구조용 재료의 용접부 특성에 치명적인 영향을 미치고 있으나 그 생성기구가 복잡하여, 이에 대한 해명이 완전히 밝혀지지 못한 실정이다.

기공생성을 방지하기 위하여 현재 용접 설계에서부터 시공 및 시공관리 그리고 검사에 이르기까지 광범위하게 그 대책을 세워 현장에서 적용되고 있다. 이러한 기공 방지 대책 중에서 결정립 미세화는 강도, 인성, 연성, 파괴인성, 피로수명 및 균열성장 저항성 등을 상승시켜주는 효과가 있다고 보고되어진다. 그러나, 지난 수 십년간 Al 합금의 주조시 결정립 미세화제로 사용되어 온 Al-Ti / Al-Ti-B 모합금을 용접공정에 적용하려는 시도는 아직까지 보고된 바 없다. 따라서 본 연구에서는 현재 상용화되어 있는 5083 알루미늄 합금을 용접할 때 주조시 결정립 미세화제로 사용되고 있는 Al-5Ti-B 및 Al-10Ti 모합금을 분말형태로 제조한 후 첨가시켜 분말 공급량에 따른 용접부의 첨가원소 효과와 기공, 미세조직 및 기계적 성질을 조사하였다.

2. 실험방법

본 연구에 사용된 모재는 고강도의 비열처리형 5083 알루미늄 합금판재였고, 그 크기는 (10)T×(100)W×(150)L mm이었다.

Table 1. Chemical compositions of base metal. (wt%)

Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	Ti	Al
0.35	0.27	0.07	0.02	4.55	0.13	0.66	0.01	Bal.

용가재로 사용된 용접 와이어는 지름1.6mm인 A5356을 사용하였으며, 그 화학조성은 다음과 같다.

Table 2. Chemical compositions of solid wire. (wt%)

Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Zn	Ti	Al
-	-	0.1	0.1	5.0	0.1	0.1	Bal.

용접시 결정립 미세화제로 사용 될 Al-10Ti/Al-5Ti-B 모합금은 Milling machine으로 chip생성 후 ball milling법을 이용하여 분말형태로 제조하였다. Photo 1은 사용된 분말의 SEM 사진으로서 분말의 평균입도는 약 80 μ m 이었다.

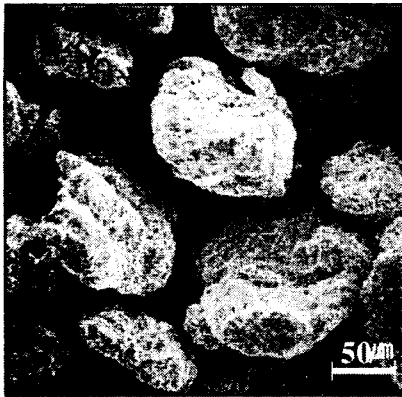


Photo 1. Shape of Al-5Ti-B powders after ball milling.

용접 비드층은 범용 MIG 용접기를 이용한 아크열에 의해 용가재 및 모재의 일부를 용융시킨 용융 지 내에 분말을 연속적으로 투입하여 형성하였다. 이때 첨가분말의 투입은 외부에 별도로 설치된 노즐을 통하여 분말은 공급하는 외부 노즐법을 이용하였고, 용융지에 분말을 균일하게 공급하기 위하여 후진법으로 하였다. 이 때 분말 공급량을 각각 4, 8, 12, 16 g/min의 4단계로 변화 시켜 용접 비드를 제조하였다. 그 이후에 SEM, OM, Image Analyzer, XRD로 미세조직과 생성상을 관찰하였고, 경도 및 Bending Test로 용접부의 기계적 성질을 평가하였으며, 아울러 기공의 생성 및 분포거동도 관찰하였다.

3. 실험결과 및 고찰

용접부 미세조직을 전해 에칭(H₂O-200ml, HBF₄:4~5ml)한 후 관찰한 결과 Fig 1에서 보이는 바와 같이 결정립 미세화 분말을 첨가하지 않은 조건에서 결정립 사이즈가 가장 조대하였고, 같은 분말공급량(4g/min)에서는 Al-10Ti 분말이 Al-5Ti-B 분말을 첨가했을 때보다 결정립 미세화 효과가 더 커짐을 확인할 수 있었다. 그리고, 결정립 사이즈의 분포를 Image analyzer를 사용하여 관찰한 결과는 Fig 2와 같다. 결정립 미세화제를 첨가하지 않은 경우 a)에서는 그 크기가 150~180 μ m 사이에서 주로 분포되어 있었고, b)와 c)는 각각 90~120 μ m, 30~60 μ m 범위에 집중되어 있는 것을 확인할 수 있었다.

결정립 미세화 분말 공급량의 변화에 따른 용접부 결정립 크기의 변화를 Fig 3에 나타내었다. Al-5Ti-B 분말의 경우는 첨가량이 증가함에 따라 결정립 사이즈가 점점 감소하여 첨가량이 16g/min 일때는 평균 결정립 크기가 62 μ m에까지 도달하였다. 하지만, Al-10Ti 분말의 경우에는 첨가량의 증가에도 불구하고 더 이상의 결정립 미세화 효과는 나타나지 않았다. 이는 용접금속내의 핵시드로 작용될 Ti 성분이 이미 4g/min 투입했을 때 미세화 효과를 일으킬 수 있을 만큼 충분한 양이 투입된 상태이므로 분말량의 증가에도 더 이상의 결정립 미세화 효과가 나타나지 않은 것으로 사료된다.

알루미늄의 용접부는 다른 금속재료에 비하여 기공이 생기기 쉬운 것으로 보고되고 있다.본 실험에서도 기공은 Photo 2에서 보는 바와 같이 용융부와 열영향부 경계에서 집중적으로 관찰되었다.

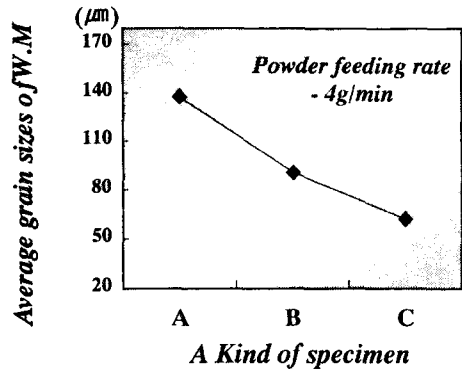


Fig 1. Change of average grain sizes of welded metal by kind of specimen

A. G.R. powder free B. Al-5Ti-B feeding (5g/min) C. Al-10Ti-B feeding (5g/min)

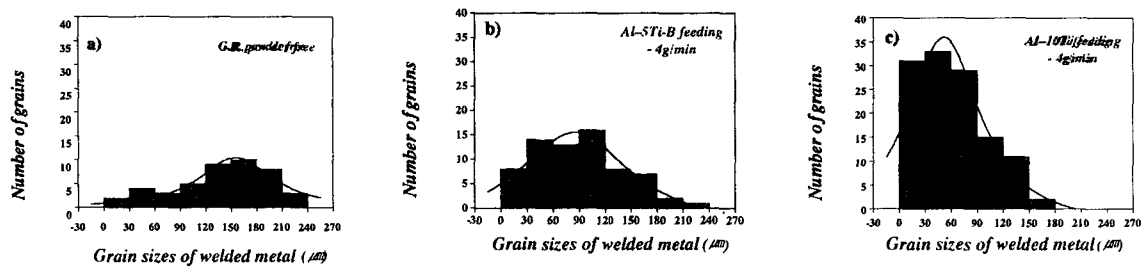


Fig 2. Distribution of the grain sizes of welded metal

a) G.R. powder free b) Al-5Ti-B feeding (5g/min)
c) Al-10Ti-B feeding (5g/min)

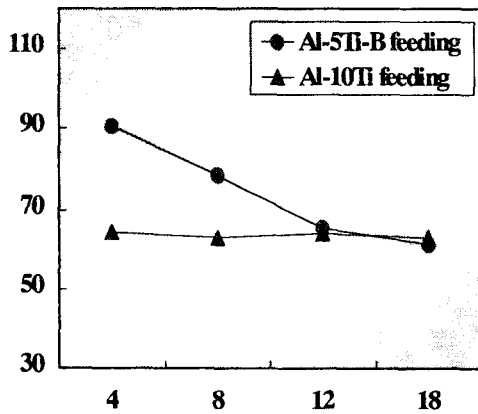


Fig 3. Change of average grain sizes of welded metal by powder feeding rate.

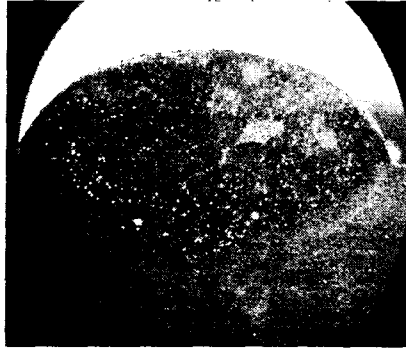


Photo 2. The Distribution of pores in weld metal

4. 결론

저온 구조용 재료로 사용되는 5083 알루미늄 합금에 결정립 미세화제의 첨가량을 변화시켜 용접부의 조직과 기계적 성질을 조사하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

- 1) 결정립 미세화제 분말의 첨가량이 많아질수록 용접부 비드의 크기가 증가하였고, DAS (Dendrite Arm spacing)를 통해 냉각속도도 감소함을 알 수 있었다.
- 2) 결정립 미세화제로 Al-5Ti-B 분말을 사용했을 경우 첨가량의 증가에 따라 용접부의 결정립 크기가 감소하였다.
- 3) 결정립 크기가 미세화 됨에 따라 열영향부와 용융부 경계를 따라 형성된 기공은 좀더 작고 균일하게 분포되어 있음을 확인할 수 있었다.

5. 참고문헌

1. V. I Nikitin , J. I. E. Wanqi , E. G. Kandalova , A. G. Makarenko and L. Yong, PREPARATION OF Al-Ti-B GRAIN REFINER BY SHS TECHNOLOGY: Scripta mater. 42 (2000) 561-566
2. P. D. LEE and J. D. HUNT, HYDROGEN POROSITY IN DIRECTIONALLY SOLIDIFIED ALUMINIUM-COPPER ALLOYS: A MATHEMATICAL MODEL : Acta mater. 49 (2001) 1383-1398
3. James G. Conley, Julie Huang, Jo Asada, Kenji Akiba, Modeling the effects of cooling rate, hydrogen content, grain refiner and modifier on microporosity formation in Al A356 alloys : Materials Science and Engineering (2000) 49-55
4. J. Birch : Aluminum-Lithium Alloys III, The Institute of Metals, (1986). (Proceedings the 3rd Ins. AL-Li conf. at Oxford, July 8~11 (1985).152
5. T. W. Hong, J. H. Moon, C. C. Shur, K. Nakata and F. Mazuta, A Study on a New Hardfacing of Aluminum Alloy by Plasma Transferred Arc Welding Process: J. of the Korean Inst. of Met. & Mater. Vol. 30, No. 12, (1992)
6. Young Ho Lee, Won Seok Kang and Kyu Cheoun Lee, A Study on the Surface Hardening of Aluminum Alloy: Journal of KWS, Vol. 15, No. 2 , February, 1997