

AZ31 마그네슘합금 레이저 용접부의 미세조직 및 미소경도의 분포에 관한 연구

최영환*, 이목영**, 최시훈^{✉,*}

*순천대학교 공과대학 재료·금속공학과

**포항산업과학연구원

A study on the microstructure and micro-hardness distribution in laser welded AZ31 magnesium alloy

Y.H. Choi*, M.Y. Lee**, S.-H. Choi*

*Department of Materials Science and Metallurgical Engineering, Sunchon University

**Advanced Metallic Material Research Department, RIST

Abstract

The laser weld of AZ31 magnesium alloy was characterized with OM, EBSD and micro vickers hardness tester in experiment. EBSD analysis and micro-hardness measurements were carried out at the three regions (Equiaxed Zone, Columnar Dendrite Zone, Base Metal) of the welded AZ31Mg alloy sheets. The magnesium alloy show the rectangular shape bead in laser weld. EBSD analysis revealed that the three regions show the heterogeneous distribution of grain size and microtexture. Micro-hardness measurement also revealed that the heterogeneous distribution of microstructure contributed to the heterogeneous micro-hardness distribution in the three regions.

Keywords: AZ31, LBW, Micro-hardness, EBSD, Microtexture

1. 서론

최근 환경문제에 따른 각종 규약 및 제한된 석유자원의 효율적인 사용에 대한 사회적 요구로 인해 특히 운송기기분야에서 연비향상을 위한 기술개발의 필요성이 대두되고 있다.^{1,2} 구조재료 분야에서는 알루미늄합금 및 마그네슘합금과 같은 경량재료를 운송기기분야에 사용하여 연비를 향상시키려는 노력이 선진국을 중심으로 활발히 진행 중에 있다. 특히 마그네슘합금은 구조재료로서 주조성과 가공성 및 진동흡수성이 뛰어나고 다른 경량재료와 비교하여도 손색이 없는 비강도 및 탄성계수를 가지고 있다.³⁻⁵ 그러나, 상온에서 낮은 성형성 및 연성 때문에 복잡한 부품 생산에 어려움이 있고 가격이 비싸다는 단점을 가지고 있다. 그러나 구조재료로서 마그네슘합금의 장점

을 이용한 많은 부품에 적용이 확대되고 있는 실정이다. 향후 마그네슘합금의 적용이 보다 더 확대되기 위해서는 보다 복잡한 부품 생산에 적합한 성형성 및 연성의 증가가 필요하며, 운송기기의 바디프레임(body frames)에서의 접합기술의 발전이 요구된다. 마그네슘합금의 접합을 위해서는 아크용접(TIG, MIG), 레이저빔 용접(LBW), 전자빔 용접(EBW) 등이 적용되어 왔다.⁶⁻¹¹ 대부분의 마그네슘합금은 알루미늄합금 대비 적은 입열량으로 빠른 속도로 용접이 가능하다. 그러나, 마그네슘합금은 기화온도가 낮고, 산화가 쉽고, 금속간 화합물의 생성 등으로 인하여 용접이 어려운 것으로 알려져 있다. 따라서 마그네슘합금 소재의 용접에서 성능이 우수한 용접부를 형성하기 위해서는 전술한 바와 같은 소재의 특성을 잘 이해하고 용접을 하는 것이 바람직하다. 마그네슘합금의 용접에 대한 기존의 연구에서는 용접부에 대한 상세한 관찰 혹은 분석이 다소 부족하였다.

투고일 : 2012년 06월 26일 심사완료일 : 2012년 09월14일

계재승인일 : 2012년 09월 21일

교신저자 : 최시훈 ✉ shihoon@sunchon.ac.kr

본 연구에서는 LBW 공정으로 용접한 AZ31 마그네슘합금 판재의 용접부에 대한 미세조직 및 미시접합조직을 관찰하였으며, 미시경도 분포를 실험적으로 조사하였다.

2. 실험방법

LBW에 의해 접합된 마그네슘합금 AZ31 용접 시편의 용융부(Fusion Zone, FZ), 열영향부(Heat Affected Zone, HAZ) 및 모재(Base Metal, BM)의 위치별 미세조직을 관찰하였다. 이를 위하여 용접 시편을 용접부를 포함하여 절단하고, 1200~2000 메시의 사포 및 1 μm 입도의 콜로이드 실리카 혼합액으로 기계적 연마를 수행한 후 피크랄계 부식액(water-5ml, ethyl alcohol-45ml, acetic acid- 5ml, picrin acid-2g)으로 부식시켰다. 용접부 미세조직은 광학현미경(Optical Microscope, OLYMPUS GX-51)으로 관찰하였으며, Clemex사의 Image Analyzer Software를 사용하여 분석을 수행하였다.

용접부의 위치별 미소경도를 측정하기 위하여 기계적 연마를 마친 시편을 비커스 경도기 CMT5.0을 이용하여 FZ, HAZ 및 BM의 영역을 두께방향으로 측정하였다. 하중과 Dwell Time은 각각 25gf와 10sec로 설정한 후 측정간격을 폭 0.15mm, 높이 0.3mm로 하여 실험을 수행하였다.

EBSD(Electron Back Scattered Diffraction) 기술과 TSL-OIM 시스템을 이용하여 용접부의 미시접합조직을 분석하였다. 일반적으로 조직검사 시편을 준비하는 과정에서 기계 연마에 의해 표면에 잔류응력이 생성되는데, 이는 EBSD 분석결과에 영향을 미친다. 미시접합조직 측정을 하기 위해서 전해연마 및 Ar-gas를 이용한 이온빔 에칭을 수행하여 표면 산화막을 제거하였으며, EBSD가 장착된 SEM을 이용하여 회절패턴을 측정하고 OIM 소프트웨어를 이용하여 결정 방위 및 접합조직을 계산하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 용접부 위치별 미세조직의 변화

Fig. 1은 LBW에 의해 용접된 AZ31 마그네슘합금의 용접부를 광학현미경으로 관찰한 결과를

보여준다. 철강재의 레이저 용접부에서 일반적으로 관찰되는 와인컵 형상과는 달리 마그네슘합금의 레이저 용접부에서는 상부와 하부의 비드 폭 차이가 작은 사각형 형태를 보였다. 이러한 원인은 마그네슘합금의 레이저 용접에서 플라즈마의 발생이 적거나 플라즈마의 온도가 낮으며, 플라즈마 복사열의 흡수율이 낮기 때문인 것으로 예상되었다.

Fig. 2는 Fig. 1에 표시된 부위의 미세조직을 나타낸 것이다. 마그네슘합금의 레이저용접에서 용융부(FZ)는 높은 에너지 밀도를 갖는 레이저빔에 의하여 용융된 후, 급냉되어 형성된다. 좌측은 용융부 중앙의 미세조직을 소재 두께 방향의 위치별로 나타낸 것이다. 이 부위는 등축정 형태의 주조직을 보이며 빠른 응고속도로 인하여 결정립의 크기가 매우 작으며, 두께에 따른 차이는 뚜렷하지 않았다. 중앙은 열영향부 경계의 용융부 부위의 미세조직을 나타낸 것이다. 이 영역은 고상의 모재에 의한 자기냉각으로 응고가 처음 시작된 부위이며 수지상형태의 응고조직을 보이고, 두께에 따른 차이는 뚜렷하지 않았다. 우측은 열영향부 인근의 모재조직을 나타낸 것이다. 용접열에 의하여 가열이 되었지만 입열량이 적고 용접속도가 빠르기 때문에 최고 가열 온도가 낮고 광학현미경 미세조직에서 조직변화의 흔적은 관찰되지 않았다. 소재 두께에 따라서 압연조직이 관찰되었다.

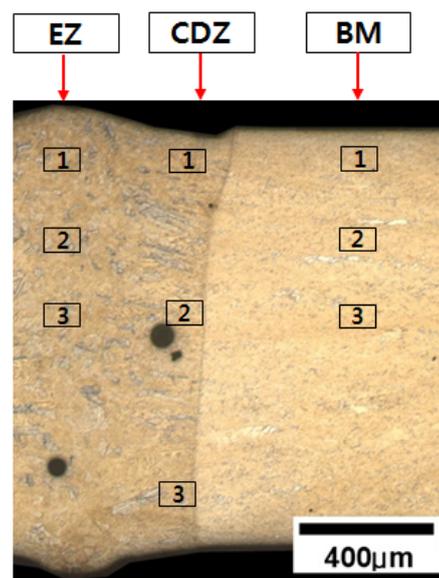


Fig. 1 Macro view of LBW method.

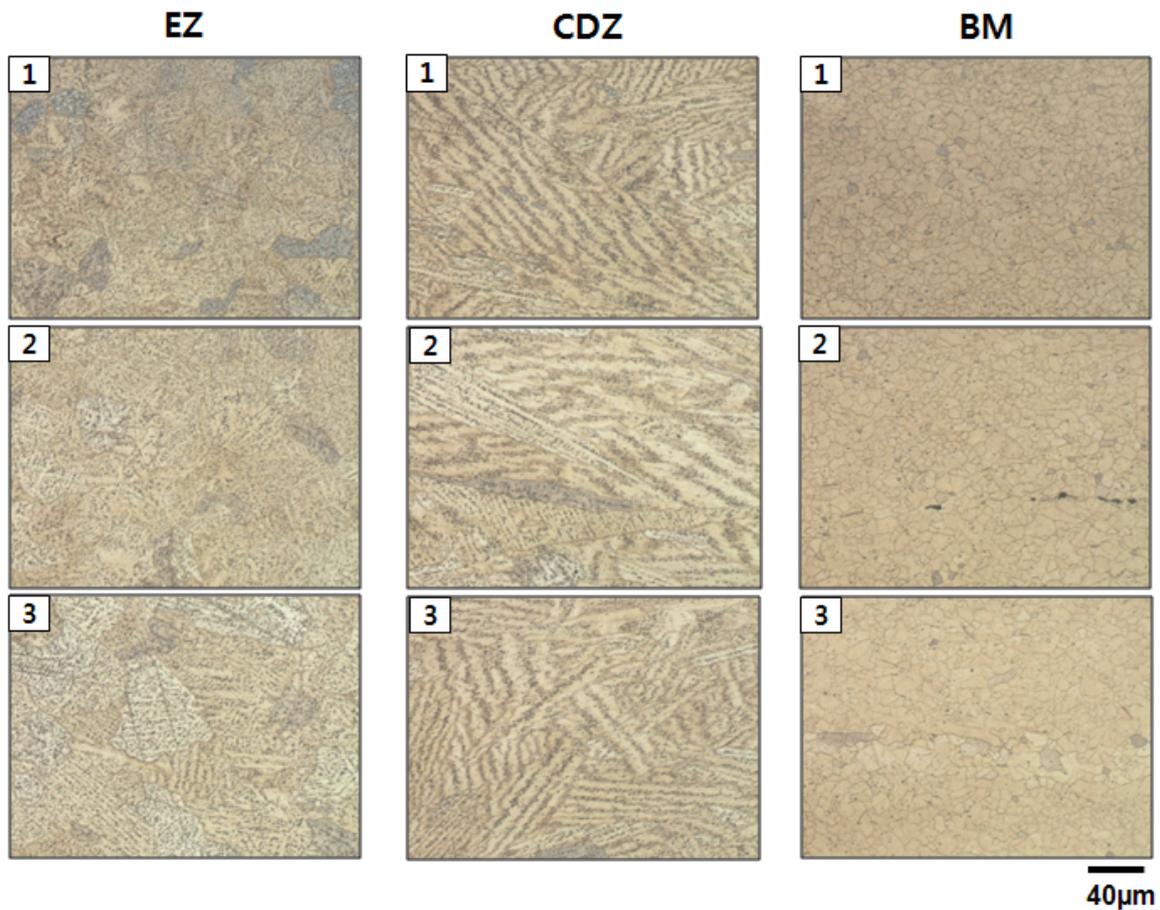


Fig. 2 Optical microscopy images showing the whole cross section of AZ31 Mg alloy joint welded using LBW method.

Fig. 3은 image analyzer를 이용하여 용접부 위치별 결정립 크기의 측정결과를 나타낸 것이다. 등축정형태로 응고된 용융영역의 중앙에서 결정립 크기는 평균 $45\mu\text{m}$ 가량으로 가장 크고, 수지상 형태의 조직을 보이는 용융대는 평균 $40\mu\text{m}$ 가량이며, 모재는 평균 $8\mu\text{m}$ 가량으로 결정립이 매우 미세하였다.

3.2 용접부 위치별 미시집합조직의 변화

Fig. 4는 용접부 위치별 역극점도(Inverse Pole Figure, IPF)맵을 나타낸 것이다. IPF맵으로부터 용접부 위치별로 발달하고 있는 미시집합조직을 확인 할 수 있다. 모재에서는 ND(Normal Direction)// $\langle 0001 \rangle$ 방위의 basal fiber 집합조직이 발달하고 있으며, EZ(Equiaxed Zone)에서는 비교적 무질서한 집합조직이 형성되었다. 무질서한 집합조직은 용접시 고온의 액상으로부터 냉각에 의해 생성된 주조조직의 결과로 판단된다.

CDZ(Columnar Dendrite Zone)에서는 모재의 ND//

$\langle 0001 \rangle$ 방위의 집합조직이 발달하였으며, 중앙에서는 $\langle 1010 \rangle$ 및 $\langle 2110 \rangle$ 방위의 집합조직이 발달하였다. Fig. 5는 용접부 위치별로 발달하는 미시집합조직을 (0002)극점도를 이용하여 분석한 결과를 보여주고 있다. 모재에서는 강한 ND// $\langle 0001 \rangle$ 방위가, EZ에서는 비교적 무질서한 방위가 발달하였다. 주상정이 발달한 CDZ에서는 ND// $\langle 0001 \rangle$ 의 방위가 TD(Transfer Direction)로 회전되어 발달하는 것으로 관찰되었다. 이것은 레이저 용접시 용융부의 냉각은 모재에 의한 자기냉각으로 인하여 열영향부에 해당하는 용융벽면으로부터 용융부 중앙으로 매우 빠른 속도로 응고가 진행되기 때문이다. 마그네슘 합금의 레이저용접에서 수지상 형태의 조직을 보이는 영역(CDZ)은 두께에 따라 다소 차이를 보이기는 하지만 0.3mm 가량의 폭을 형성하였다. 한편 상대적으로 응고속도가 느리고 온도 구배가 적은 용융부 내부에서는 결정립 성장 보다는 결정립 핵생성이 우세하여 등축정형태의 무질서한 방위의 조직(EZ)을 형성하였다.

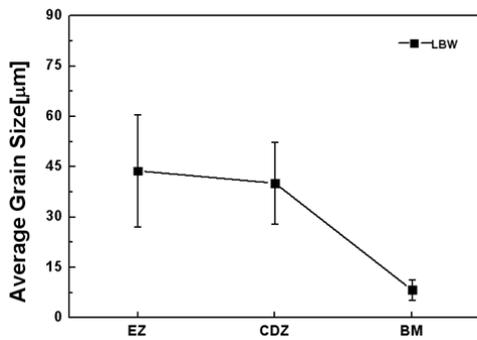


Fig. 3 Grain size distribution along the AZ31 Mg alloy joint welded using LBW method.

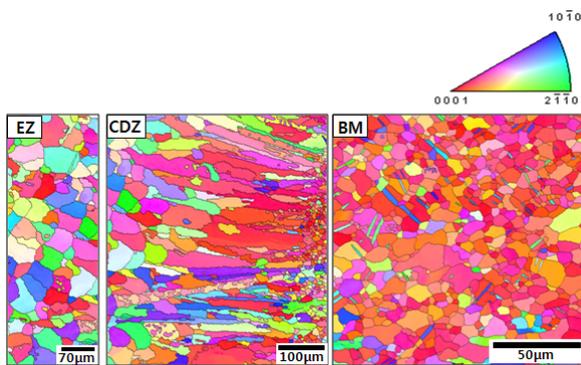


Fig. 4 Inverse Pole Figure map in the whole cross section of AZ31 Mg alloy joint welded using LBW method.

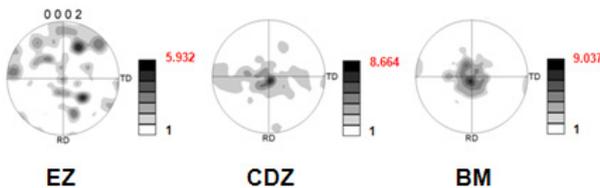


Fig. 5 Pole figure in the whole cross section of AZ31 Mg alloy joint welded using LBW method.

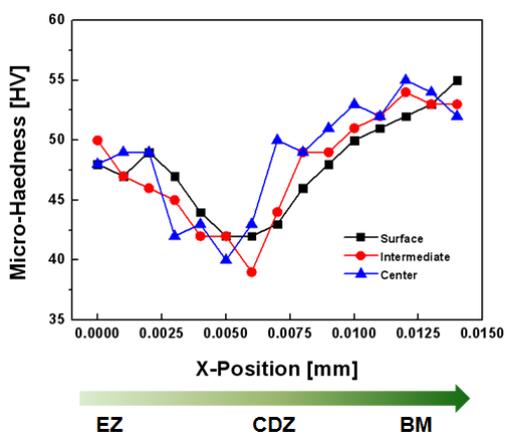


Fig. 6 Distribution of microhardness in the whole cross section of AZ31 Mg alloy joint welded using LBW method.

3.3 용접부 위치별 미세경도의 변화

Fig. 6은 LBW 공정으로 용접된 AZ31 마그네슘 합금의 용접부 단면에서 두께방향으로 측정된 미세경도 분포를 보여준다. BM에서 CDZ로 갈수록 경도값이 감소하고 최소값을 지난후 EZ에서 다시 약간 증가하는 경향을 보였다. 이런 경향은 CDZ에서 관찰되는 길이가 길고 조대한 주상정 조직의 낮은 경도값 때문에 나타난 결과로 판단된다. 이상의 결과로부터 AZ31 마그네슘 합금의 용접부 단면의 경도분포는 결정립 크기와 밀접한 관련이 있음을 알 수 있다.

4. 결론

LBW 공정을 이용하여 용접한 AZ31 Mg합금 용접부 단면의 위치별 미세조직, 미세집합조직 그리고 미세경도를 측정된 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 용접부 위치별 미세조직 분석결과 결정립의 크기는 EZ ≈ CDZ > BM 순이었다. CDZ에서는 연신된 형상을 가진 주상정 조직이 관찰되었다.
- 2) 용접부 위치별 미세집합조직 분석결과 EZ에서는 무질서하였고, 모재에서는 대부분 강한 basal fiber(ND//<0001>) 집합조직이 발달하였다. CDZ에서는 ND//<0001>방위는 사라지고 TD로 회전된 방위가 발달하는 것으로 관찰되었다.
- 3) 두께방향으로 용접부 위치별 미소 경도 측정 결과 모재에서 CDZ로 갈수록 경도값이 감소하였고 EZ에서 다시 약간 증가하는 경향을 나타냈다. 이런 경향은 CDZ에서 관찰되는 조대한 주상정의 낮은 경도값의 결과로 판단되며, 이는 결정립 크기와 밀접한 관련이 있음이 관찰되었다.

후 기

본 연구는 포항산업과학연구원의 연구비 지원에 의해 이루어진 것으로 이에 감사드립니다.

References

- 1) M.Y. Lee, C.S. Ryu and W.S. Chang, "Trends in Application of Magnesium Alloy and Its Welding Characteristics with Laser," *Journal of KSLP*, Vol. 14, No. 5, 2007.
- 2) M.Y. Lee, B.H. Jeang, S.M. Jeang, H.J. Park, "Study on the mechanical properties of laser welded AZ31 magnesium alloy," *Journal of KSLP*, Vol. 9, No. 1, pp. 25-29, 2006.
- 3) S.-H. Choi, D.H. Kim, S.S. Park, B.S. You, "Simulation of stress concentration in Mg alloys using the crystal plasticity finite element method," *Acta Materials*, Vol. 58, pp. 320-329, 2010.
- 4) S.-H. Choi, D.H. Kim, H.W. Lee, E.J. Shin, "Simulation of Texture evolution and macroscopic properties in Mg alloy using the crystal plasticity finite element method," *Materials Science and Engineering: A*, Vol. 527, pp. 1151-1159, 2009.
- 5) X. Cao, M. Jahazi, J.P. Immariageon, W.Wallace, "A review of laser welding techniques for magnesium alloys," *Journal of Materials Processing Technology*, Vol. 171, Issue 2, 2006.
- 6) D. Min, J. Shen, S. Lai, J. Chen, "Effect of heat input on the microstructure and mechanical properties of tungsten inert gas arc butt-welded AZ61 Magnesium alloy plates," *Materials Characterization*, Vol. 60, pp. 1583-1590, 2009.
- 7) L.K. Pan, C.C. Wang, Y.C. Hsiaso, K.C. Ho, "Optimization of Nd:YAG laser welding onto magnesium alloy via Taguchi analysis," *Optics & Laser Technology*, Vol. 37, Issue 1, pp. 33-42, 2005.
- 8) L.Liming, W. Jefeng, S. Gang, "Hybrid laser-TIG welding, laser Beam welding and gas tungsten arc welding of AZ31B magnesium alloy," *Materials Science and Engineering: A*, Vol. 381, Issues 1-2, pp. 129-133, 2004.
- 9) J.A. Esparza, W.C. Davis, E.A. Trillo, L.E. Murr, "Friction-stir welding of magnesium alloy AZ31B," *Journal of Materials Science Letters*, Vol. 21, pp. 917-920, 2002.
- 10) N. Xu, J. Shen, W. Xie, L. Wang, D. Wang, D. Min, "Abnormal distribution of microhardness in tungsten inert gas arc butt-welded AZ61 magnesium alloy plates," *Materials characterization*, Vol. 61, pp. 713-719, 2010.
- 11) R.S. Coelho, A. Kostka, H. Pinto, S. Riekehr, M. Kocak, A.R. Pyzalla, "Microstructure and mechanical properties of magnesium alloy AZ31B laser beam welds," *Materials Science and Engineering: A*, Vol. 485, pp. 20-30, 2008.