

레이저 열원을 이용한 마그네슘 합금의 용접성에 관한 연구 (Ⅱ) - AZ31B-H24 및 AZ31B-O 레이저 용접부의 기계적 특성 -

이 정 한* · 김 중 도**·† · 이 문 용*

*성우하이텍 기술연구소

**한국해양대학교 기관공학부

A Study on the Weldability of Magnesium Alloy by Laser Heat Source (Ⅱ) - Mechanical Properties of laser-welded AZ31B-H24 and AZ31B-O -

Jung-Han Lee*, Jong-Do Kim**·† and Mun-Yong Lee*

*Technical Institute of Sungwoo Hitech Co., LTD, Busan 619-961, Korea

**Division of Marine Engineering, Korea Maritime University, Busan 606-791, Korea

†Corresponding author : jdkim@hhu.ac.kr

(Received October 16, 2012 ; Revised October 30, 2012 ; Accepted December 28, 2012)

Abstract

Magnesium alloy sheet which is commercially available in the market presently is AZ31B, a Mg-Al-Zn three elements alloy. AZ31B is used by being classified into AZ31B-H24 and AZ31B-O depending on temper designation. In this study, AZ31B-H24 and AZ31B-O alloy sheets with 1.25mm thickness were butt-welded using CW Nd:YAG laser. And the effect of materials on mechanical properties was investigated by tensile and hardness tests. As a result of this study, regardless of materials, the butt-welded joint did not show a significant difference in tensile strength and hardness values. However, compared with the basemetal, the AZ31B-O showed more outstanding mechanical properties than AZ31B-H24, and that is because H24 material lost the effect of work hardening during welding.

Key Words : AZ31B-H24, AZ31B-O, Nd:YAG laser, Butt welding, Mechanical property

1. 서 론

마그네슘 합금은 구조용 금속재료 중 최경량이며서도 비강도 및 비강성과 같은 기계적 특성이 우수하여 21세기 가장 중요한 재료 중 하나가 되었다. 또한 구조성, 기계가공성, 진동·충격 흡수능 및 전자파 차폐성이 뛰어나 수송기기, 전자제품, 휴대용 공구류, 스포츠·레저용품, 군수용품, 의료기기 등 폭 넓은 분야에서 응용되고 있으며, 추후 그 사용이 더욱 기대된다.

이처럼 오늘날 알루미늄 합금의 뒤를 이을 차세대 경량재료로서 주목받고 있는 마그네슘 합금은 과거에는 높은 가격으로 인해 우주항공분야와 같이 극히 제한된 분야에서만 사용되어 왔다. 그러나 1990년대 초부터

대기 오염의 주원인인 자동차의 배기가스 배출을 저감하려는 국제적인 움직임이 활발해짐에 따라 연비 개선을 위한 차체 경량화의 대안으로 새롭게 주목받고 있다. 또한 노트북, 휴대폰 등의 휴대용 전자기기의 보급이 확대됨에 따라 인체에 유해한 전자파를 효과적으로 차단하면서 재활용이 가능하고 내구성을 겸비한 새로운 소재가 요구되면서 기존에 플라스틱으로 제조되던 휴대용 전자기기의 케이스가 점차 마그네슘 합금으로 대체되고 있는 실정이다¹⁻⁷⁾. 이에 따라 1990년대 초반 이후 마그네슘 합금의 시장 규모는 연평균 15% 이상의 성장세를 나타낼 정도로 그 사용량이 급증하고 있다. 현재 구조용으로 사용되고 있는 마그네슘 합금은 주로 자동차 및 전자기기 부품에 적용되고 있으며, 국내 제조업의 근간이 자동차 및 전자 산업을 고려할 때 마

그네슘 합금 관련 기술의 개발이 국내 산업에 미치는 파급효과는 매우 크다고 볼 수 있다.

한편 이처럼 소중한 자원인 마그네슘을 보다 적극적으로 활용하기 위해서는 용접공정이 필수적으로 요구되나 국내의 관련 연구는 선진국들에 비해 초기단계에 머물러 있는 상황이다⁸⁻¹³⁾.

특히 압연판재로 상용화되어 있는 AZ31B 합금은 질별조건에 따라 AZ31B-H24 및 AZ31B-O로 구분되는데 동일한 조성임에도 서로 다른 물성을 나타내며, 이로 인해 I보에서 언급한 것처럼 용접조건에 세심한 주의가 요구된다.

따라서 II보인 본 연구에서는 CW Nd:YAG 레이저를 이용하여 AZ31B-H24 및 AZ31B-O의 맞대기 용접을 실시하고 용접부의 기계적 특성을 비교 및 검토하였다.

2. 사용재료 및 실험방법

2.1 사용재료

본 연구에서 사용한 용접재료는 두께 1.25mm의 AZ31B-H24 및 AZ31B-O 마그네슘 합금 압연판재이다. 여기서 H24는 가공경화 후 부분 어닐링을, 그리고 O는 완전 어닐링된 상태를 의미한다.

AZ31B는 Mg-Al-Zn의 3원계 합금으로 Table 1에 ASTM에서 규정하고 있는 주요 합금원소의 조성, 본 연구에서 사용한 재료의 ICP 분석결과를 나타낸다. 실험결과 두 소재의 합금원소 모두 공칭조성내에 포함되는 것을 확인하였다.

2.2 실험방법

본 연구에서 사용한 용접 열원은 최대출력 4kW의 CW Nd:YAG 레이저로, 비초점 거리($f_d = -1\text{mm}$)에서 맞대기 용접을 실시하였다. 또한 용접시 산화에 민감한 마그네슘의 특성을 고려하여 Fig. 1에 나타난 것처럼 전면비드와 이면비드를 모두 실드하였다. 이때 사용한 보호가스는 Ar이었으며, 전면실드유량은 25 l/min, 그

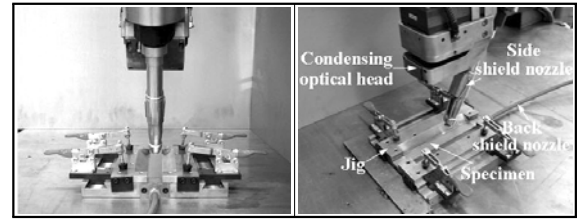
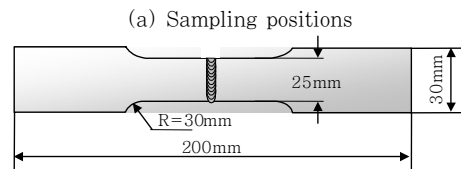
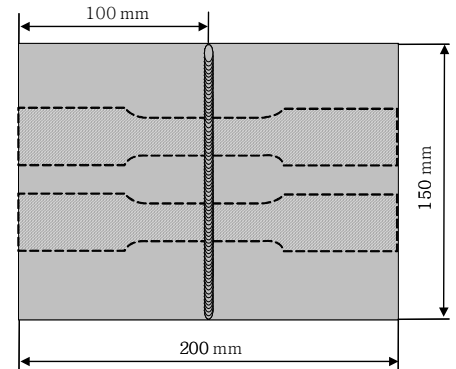


Fig. 1 Photos of laser welding



(b) Schematic illustration

Fig. 2 Sampling and schematic illustration of tensile specimen

리고 이면실드유량은 10 l/min으로 고정하였다.

인장시험은 맞대기 용접성을 검토한 후 적정조건하에서 실시하였으며, 이때 사용한 인장시험편은 KS B 0801 5호 규격으로 제작하였다. Fig. 2에 인장시험편의 채취 위치와 모식도를 나타내며, 150 mm(길이) × 100 mm(폭) 크기의 시험편 두 장을 맞대기 용접하여 인장시험편을 장당 2매씩 총 4매 제작하였다. 또한 마이크로 비커스 경도기(0.2kgf)를 사용하여 용접부의 경화 정도를 소재별로 비교하였다.

3. 실험 결과 및 고찰

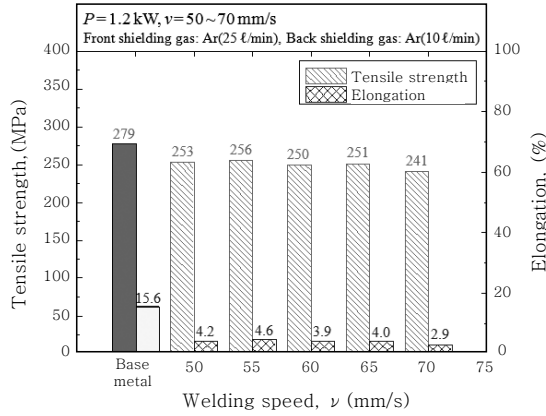
3.1 마그네슘 합금 용접부의 기계적 특성

Fig. 3은 I보에서 두 소재 모두 안정적인 맞대기 용접성을 보였던 레이저 출력 1.2kW를 적용한 경우, H24재와 O재의 용접조건에 따른 인장강도 및 연신율을 비교하여 나타낸 것이다.

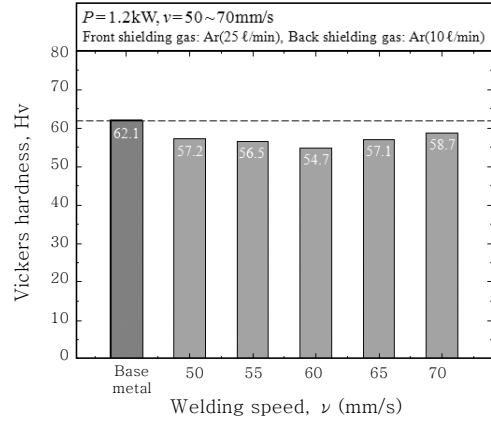
우선 두 소재의 인장시험에서 AZ31B-H24는 279MPa의 인장강도와 15.6%의 연신, 그리고 AZ31B-O는

Table 1 Result of ICP analysis according to specimens(wt.%)

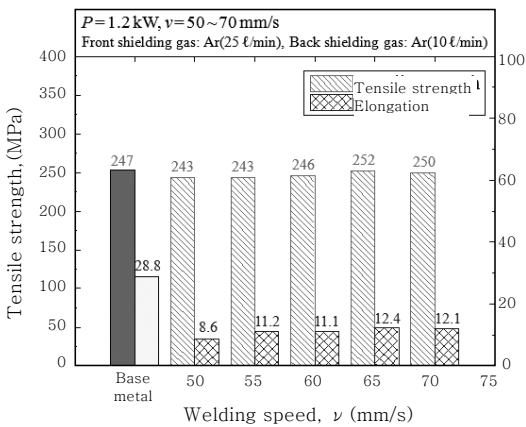
Element Material	Al	Zn	Mn	Mg
AZ31B(ASTM)	2.5~3.5	0.6~1.4	0.2~1.0	Bal.
AZ31B-H24	2.89	0.77	0.29	Bal.
AZ31B-O	2.83	1.01	0.39	Bal.



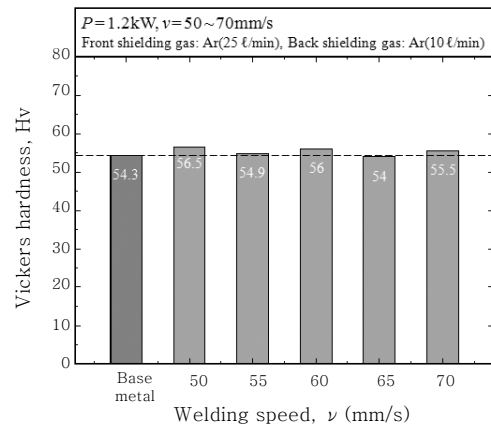
(a) AZ31B-H24



(a) AZ31B-H24



(b) AZ31B-O



(b) AZ31B-O

Fig. 3 Comparison of tensile strength and elongation according to specimens

Fig. 4 Comparison of weld hardness according to specimens

247MPa의 인장강도와 28.8%의 연신을 가지고 있었다. 실험결과를 살펴보면 두 소재 모두 용접부의 인장강도는 240~250MPa를 조금 넘는 범위에 분포하고 있으며, 과단부위도 용접부로 동일하였다. 그러나 모재와 비교해 보면 H24재의 경우 용접부의 강도는 모재의 약 90%, 연신은 30% 수준인 반면, O재는 모재와 거의 동등한 수준의 강도와 40% 수준의 연신을 가지는 우수한 특성을 보였다.

Fig. 4는 레이저 출력 1.2kW를 적용한 경우, H24재와 O재의 용접조건에 따른 용접부 평균 경도값을 비교하여 나타낸 것이다. 앞서 인장강도와 마찬가지로 용접조건에 따른 경도값의 차이는 크지 않으며, 두 소재 모두 54~57 범위의 비커스 경도값을 기록하였다. 그러나 모재와 비교해보면 H24재의 용접부는 모재 보다 경도값이 떨어진 반면, O재는 모재와 동등하거나 그 보다 다소 높은 값을 알 수 있다. 이러한 차이는 AZ31B 합금의 강화 메커니즘으로부터 유추할 수 있는데, 마그네슘 압연판재의 가공 메커니즘은 크게 가공경화와 고용강화이다¹⁻⁴⁾.

대부분의 순금속은 그 자체로는 매우 연하여 상업적으로 사용할 수가 없기 때문에 기계적 특성을 향상시키기 위해 합금원소를 첨가하게 된다. 마그네슘 합금, 특히 본 실험에 사용된 AZ31B는 마그네슘 기지에 알루미늄이 3 wt.% 그리고 아연이 1 wt.% 첨가된 합금이다. 이들 합금원소는 마그네슘 기지에 고용되며 강도 및 경도와 같은 기계적 특성을 향상시키는 역할을 수행하게 된다. 또한 압연을 하는 과정에서 마그네슘 합금의 소성변형을 동반하게 되고 그로 인해 전위가 특정 부분에 모여 금속을 강화시키는 가공경화가 마그네슘 합금의 주된 강화 메커니즘이다.

따라서 부분 어닐링재인 H24재의 경우에는 용접시 압연에 의한 가공경화의 효과는 사라지나, 상대적으로 비점이 높은 알루미늄이 용접부내 잔존하게 되면서 고용강화 효과와, 더불어 마그네슘과 알루미늄이 만드는 금속간화합물의 석출변도 증가, 그리고 레이저 공정에 기인한 결정립 미세화의 영향 등이 용접부를 경화시키는 메커니즘이 될 수 있다. 반면에 완전 어닐링재인 O의 경우, 소재 자체가 가공경화의 효과가 없기 때문에

모재와 동등한 수준의 경도를 보이는 것으로 사료된다.

3.2 용접부의 미세 조직

Fig. 5는 동일한 용접조건하에서 H24재와 O재의 미세조직을 비교하여 정리한 것으로, 크게 용융경계부와 용접부 센터의 조직을 제시하였다. 소재에 따른 모재의 물성 차이가 존재하더라도, 동일한 조성의 시험편이기 때문에 용접부의 조직적 차이는 크지 않았으며, 또한 열영향부의 존재도 두드러지지 않았다.

미세조직을 살펴보면 용융경계부에서는 열류방향과 반대방향으로 에피택셜 성장(epitaxial growth)을 하는 주상정이, 그리고 용접부 센터에서는 등축정이 관찰되었다. 또한 H24재의 경우에는 용융경계부에서 성장해 나온 주상정이 용접부 센터에 가까워지면서 새로운 방향으로 재차 분열하여 성장해 나가는 것을 확인할 수 있다. 이것은 용접시 H24재가 O재 보다 용융부내 대류가 보다 활발하고 격렬하다는 것을 간접적으로 말해주는 증거가 된다. 다시 말해 H24재는 압연공정에 의한 잔류응력이 남아있는 소재로, 용접시 용접 및 비점이 낮은 마그네슘이 급속히 용융 및 증발하면서 소재내

의 잔류응력이 순간적으로 풀어지고, 동시에 그 반발력으로 용융경계부에서 성장해 온 주상정의 끝부분이 떨어져 나가면서 새로운 핵으로 작용하여 재차 성장하기 때문이다.

또한 두 소재의 용접부 센터에서 결정립 크기를 비교해 보면, H24재는 약 53 μm , O재는 43 μm 를 기록하였다. H24재의 평균 결정립이 O재에 비해 보다 큰 것을 알 수 있는데, 이것은 I보에서 설명한 것처럼 결정립이 작은 H24재가 용접입열의 축적이 보다 용이하기 때문으로 사료된다. 한편 모재와 비교해보면 용접부의 결정립이 모재보다는 조대하다는 것을 알 수 있다. 따라서 레이저 용접에 의한 결정립 미세화의 효과는 없는 것으로 판단되며, AZ31B의 주요 합금원소인 Al 및 Zn의 조성도 상온에서 고용도내에 포함되는 범위가기 때문에 금속간화합물인 $\text{Mg}_{17}\text{Al}_{12}$ 의 생성도 어렵다고 판단된다⁷⁾.

따라서 마그네슘 합금의 용접부를 강화시키는 주된 원인은 용접시 용접부내 잔존하게 되는 알루미늄에 의한 고용강화로, 하나의 결정립내에 알루미늄이 다량 고용되면서 결정립 또한 조대해진 것으로 사료된다.

3.3 용접부내 알루미늄 거동

Fig. 6은 마그네슘 합금 용접부내 알루미늄의 농화를 파악하기 위한 EPMA분석 결과이다. 분석 대상은 AZ31B-O의 용접부이며, 주요 합금원소인 Mg, Al, Zn 및 Mn에 대하여 용융경계부에서 모재와 용접부를 같이 조사하였다. 그 결과 용접부내 알루미늄의 농화를 확인할 수 있었다. 한편 AZ31B 합금의 경우, 마그네슘 합금내 알루미늄양은 3wt.%로 매우 제한적이기 때문에 농화 경향이 두드러지지 않았다. 그러나 기존에 보고된 알루미늄의 잔존 여유는 분명하였다¹⁴⁾.

이상의 결과로부터 레이저 용접시 다른 합금원소에 비해 상대적으로 용점이 높은 알루미늄이 용접부내 잔존하며, 마그네슘 합금의 용접부를 강화시키는 주 원인은 용접부내 잔존하는 알루미늄의 영향이라는 것이 명확해졌다.

4. 결 론

CW Nd:YAG 레이저를 이용한 AZ31B-H24 및 AZ31B-O 맞대기 용접부의 기계적 특성을 평가한 연구결과를 정리하면 다음과 같다.

1) AZ31B-H24재와 O재의 인장시험 결과, 두 소재 모두 용접부의 인장강도는 240~250MPa로 유사하였

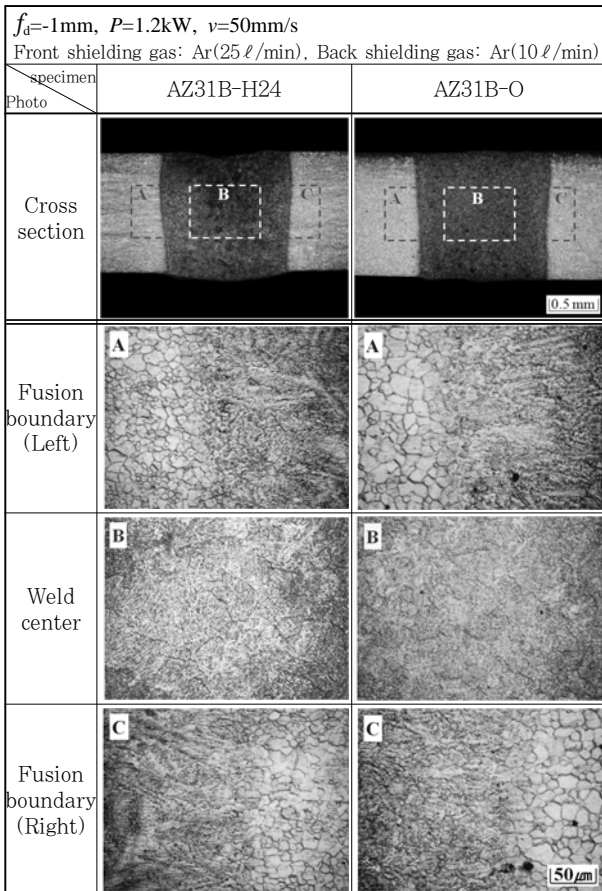


Fig. 5 Comparison of microstructure according to specimen

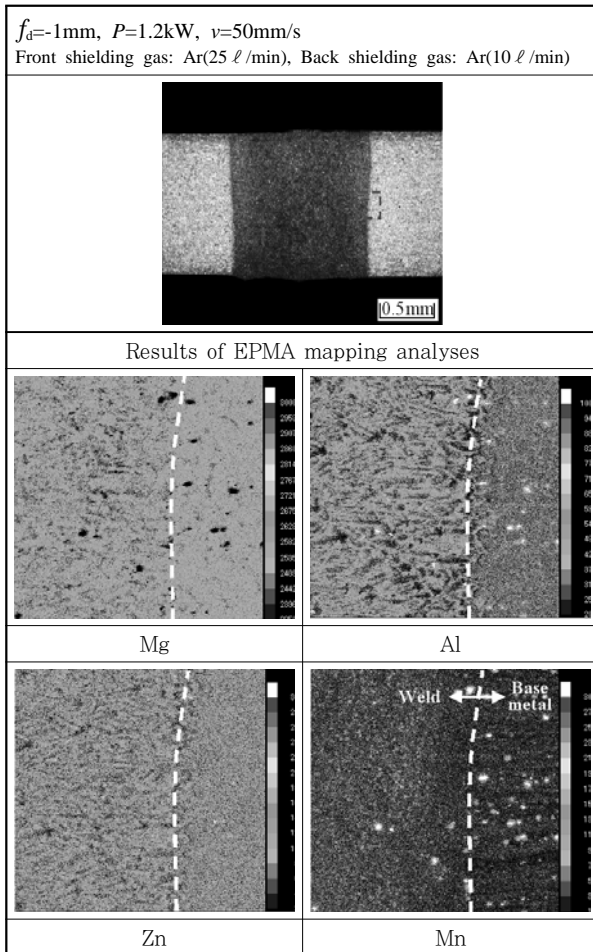


Fig. 6 Results of EPMA in weld of AZ31B-O

다. 그러나 모재와 비교해 보면 H24재의 경우 용접부의 강도는 모재의 약 90%, 연신은 30% 수준인 반면, O재는 모재와 거의 동등한 수준의 강도와 40% 수준의 연신을 가지는 우수한 특성을 보였다.

2) 맞대기 용접부의 경도시험 결과, 용접조건에 따른 경도값의 차이는 크지 않으며, H24 및 O재 모두 54 ~ 57 범위의 비커스 경도값을 기록하였다. 그러나 모재의 경도와 비교해 보면, H24재는 용접부의 경도가 다소 떨어진 반면 O재는 모재와 동등한 수준인 것을 확인 할 수 있는데, 이것은 두 소재의 가공경화 유무차이 때문이다.

3) 마그네슘 합금 용접부의 미세조직을 관찰한 결과, 용접부는 모재보다 조대한 결정립을 가지고 있었다. 따라서 레이저 용접에 의한 결정립 미세화의 효과는 기대하기 힘들며, AZ31B의 주요 합금원소인 Al 및 Zn의 조성도 고용한도내에 포함되는 범위이기 때문에 금속간 화합물인 $Mg_{17}Al_{12}$ 의 생성도 어렵다고 판단된다. 이상의 결과로부터 마그네슘 합금의 용접부를 강화시키는 주된 원인은 알루미늄에 의한 고용강화로 사료된다.

후 기

본 연구는 지식경제부 및 정보통신진흥원의 대학 IT 연구센터 지원사업의 연구결과로 수행되었음(NIPA-2012-H0301-12-2009). 또한, 본 과제(결과물)는 국토해양부의 지원으로 수행한 해양에너지 전문인력 양성사업의 연구결과입니다.

참 고 문 헌

- M.M. Avedesian and H. Baker : ASM Specialty Handbook- Magnesium and Magnesium Alloys, 1999
- 한국철강신문 : 마그네슘합금의 기초 및 응용, 2004
- 日本塑性加工學會 : マグネシウム加工技術, 2004
- H.E. Friedrich and B.L. Mordike : Magnesium Technology, 2006
- B.L. Mordike and T. Ebert : Magnesium: Properties-applications-potential, Materials Science and Engineering A, **302-1**(2001), 37-45
- Z. Yang, J.P. Li, J.X. Zhang, G.W. Lorimer and J. Robson : Review on Research and Development of Magnesium Alloys, Acta Metallurgica Sinica(English Letters), **21-5**(2008), 313-328
- Y. Yoshida, K. Arai, S. Itoh, S. Kamado, T. Wada, T. Matsunaga, T. Yoshimoto and Y. Kojima : Effects of Al and Zn Contents and Heat Treatment on Microstructures and Tensile Properties of Mg-Al-Zn Alloys, Journal of Japan Institute of Light Metals, **55-10**(2005), 456-462
- T. Asahina and H. Tokisue : Electron Beam Weldability of Pure Magnesium and AZ31 Magnesium Alloy, Materials Transactions, **42-11**(2001), 2345-2353
- J. Zhu, L. Li and Z. Liu : CO₂ and Diode Laser Welding of AZ31 Magnesium Alloy, Applied Surface Science, **247-1~4**(2005), 300-306
- T. Asahina : Pulsed YAG Laser Weldability of Magnesium Alloys, Welding International, **19-1** (2005), 23-28
- R.S. Coelho, A. Kostka, H. Pinto, S. Riekehr, M. Kocak and A.R. Pyzalla : Microstructure and Mechanical Properties of Magnesium Alloy AZ31B Laser Beam Welds, Materials Science and Engineering A, **485-1~2**(2008), 20-30
- C.S. Ryu, K.S. Bang, M.Y. Lee and W.S. Chang : Laser Welding of AZ31B-H24 Mg Alloy with AZ61 Filler Wire, Journal of KWJS, **26-6**(2008), 54-58 (in Korean)
- J.D. Kim, J.H. Lee and Y.S. Kim : A Study on Weld Defect and Their Alternatives during Lap Welding of AZ31B Magnesium Alloy by Pulsed Nd:YAG Laser, Journal of KWJS, **29-3**(2011), 82-88 (in Korean)
- J.D. Kim, J.H. Lee and K.C. Kim : Welding Characteristics of Aluminized Steel Sheet by Nd:YAG Laser(II), Journal of KWJS, **25-4**(2007), 72-78 (in Korean)

16. G. Soyez, J.A. Eastman, L.J. Thompson, G.R. Bai, P.M. Baldo and A.W. McCormick : Grain size-dependent thermal conductivity of nanocrystalline yttria-stabilized zirconia films grown by metal-organic chemical vapor deposition, APPLIED PHYSICS LETTERS, **77-8**(2000), 1155-1157
17. Y.J. Lee, Y.H. Park and T. Hinoki : Influence of Grain Size on Thermal Conductivity of SiC Ceramics, IOP Conference Series : Materials Science and Engineering, **18-10**(2011), Paper number 162014