

자동차용 아연 도금 강판과 알루미늄 합금의 접합

이우람*, 이정현⁺

(논문접수일 2011. 1. 4, 심사완료일 2011. 3. 30)

Joining of Zinc Coated Steel and Aluminum Alloy for Car Body

Woo-Ram Lee*, Jung-Hyun Lee⁺

Abstract

There is problem to reduce the car body weight for improving fuel consumption and CO_2 generation. As one of the solution, the multi material car body concept using aluminum alloys and high strength steels is proposed recently. Therefore, new welding processes by which these dissimilar material can be joined in high reliability and productivity are demanded. Laser spot welding was developed for joining of dissimilar metals. In the present work, Laser spot welding of zinc coated steel and aluminum alloy was investigated, and the process parameters were studied. Otherwise, the influences of process parameters on the weldability, the formation of intermetallic compound layer and the mechanical properties have been investigated. When intermetallic compound layer thickness was more than 1mm, specimen was failure in the interface.

Key Words : MLaser spot welding(레이저 점 용접), Dissimilar metal joint(이종 금속 접합), Zinc coated steel(아연 도금 강판), Aluminum alloy(알루미늄 합금)

1. 서론

고밀도 에너지를 전달하는 레이저 빔은 비교적 최근에 개발된 재료가공 수단으로 좁은 면적에 농축된 열에너지를 전달하는 특성을 갖기 때문에 산소-아세틸렌 열원이나 전기 아크 열원 등과 비교할 때, 가공부의 제한된 부분에만 열 영향을 끼치면서 용접, 절단, 드릴링, 표면처리 등 여러 생산 공정에서 효과적으로 이용될 수 있다. 특히 최근에 수kW급의 대용량의 레이저가 출현하면서 레이저 용접의 중요성이 부각되기 시작했다⁽¹⁾.

레이저 용접은 용접 속도가 다른 어떤 용접법 보다 빠르고 용입깊이가 깊고 입열량이 적고 열영향부가 매우 좁다는 등 많은 장점을 가지고 있기 때문에 산업체에서 많이 사용되고 있으므로 이에 대한 연구를 필요로 한다⁽²⁾.

차체 생산공정을 레이저 용접을 이용하고자 이에 대한 검토의 일환으로 연구가 진행되었다. 현재 차체는 대부분 저항 점 용접에 의해 조립되고 있는 실정이다. 그러나 저항용접기의 구조적, 기하학적 특성으로 인해 그 적용 범위가 제한되고 용접 자세의 문제로 인해 많은 수의 용접기를 설치해야 하는 등의 문제점을 내포하고 있다⁽³⁾.

따라서 이를 레이저 용접으로 대체하면 시설 투자비를 상당량 절약할 수 있을 것으로 생각된다. 본 연구에서는 아연 도금 강판과 알루미늄 간의 이종접합을 시도 하여 복합차체의 차량 적용의 실용성에 관하여 논의하고, 접합성능을 평가하고자 한다. Fig. 1은 레이저 점 용접이 차체에 대한 자동차 산업의 적용 사례이다⁽⁴⁾.

복합 물질 차체를 만들기 위하여 강과 알루미늄을 용접하여

* 서울과학기술대학교 NID 융합기술 대학원 나노IT융합 프로그램 (wooramlee@snut.ac.kr)

주소: 서울시 노원구 공릉동 17-2

+ 불보 자동차(스웨덴)

결합시키는 기술은 높은 신뢰성과 생산성이 요구된다. 그러나, 강과 알루미늄을 이종접합 하는 기술은 매우 어려운 기술이다. 그 이유는 Fig.2 에 나온 철과 알루미늄의 금속간 화합물 상태에서 찾을 수 있다^(5,6).

금속간 화합물은 철이 풍부한 화합물(Fe-rich, FeAl and Fe₃Al)과 알루미늄이 풍부한 화합물(Al-rich, FeAl₂ Fe₂Al₅ FeAl₃)로 대별할 수 있다. 압축시험을 통한 주조 금속간 화합물의 기계적 성질은 Fig.3 에 나타나 있다. 알루미늄이 풍부한 금속간 화합물은 취성이 크고, 철이 많은 금속간 화합물은 약간의 연성과 높은 강도를 보인다. 이러한 이유로 취성을 뛰는 금속

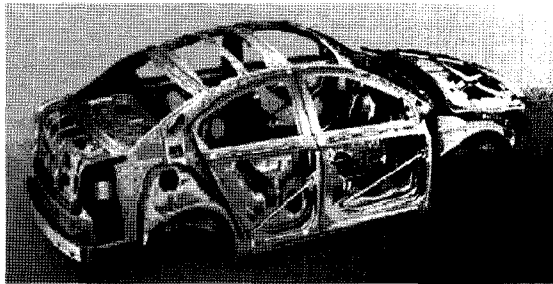


Fig. 1 Example of the steel-aluminum application in automobile industry

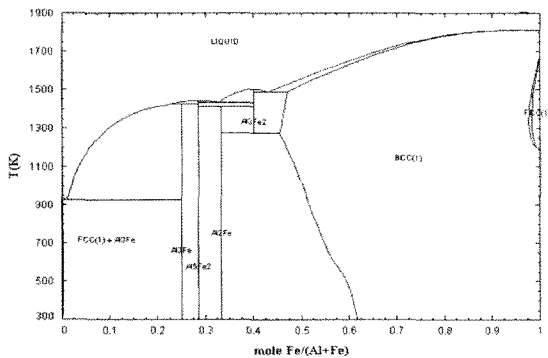


Fig. 2 Fe-Al binary equilibrium diagram

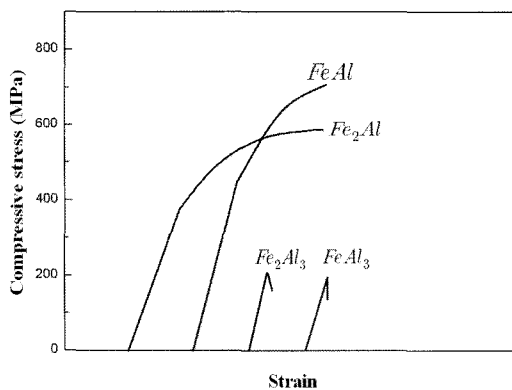


Fig. 3 Flow curve in compressive test of Fe-Al intermetallic compounds

간 화합물은 레이저 롤 웰딩을 적용하는 것이 바람직하다^(7,8).

선행실험에서 아연도금 강판과 알루미늄 합금의 레이저 롤 웰딩과 이에 관한 공정변수에 관하여 연구 되었다. 이외에도 공정변수가 접합성, 금속간 화합물층의 형상과 결합의 기계적 성질에 미치는 영향에 관하여 연구 하였다.

2. 실험

2.1 실험 재료

Fig.4 는 실험에 사용된 시편의 모식도이다. 아연 도금 강판과 알루미늄을 이용하여 접합 실험을 진행 하였다. 시편의 크기는 140mm×70mm 아연도금 강판의 두께는 1mm 이고 레이저의 시간당 출력이 낮은 관계로 레이저를 조사시킬 상부는 알루미늄을 이용하였다.

2.2 실험 장치

레이저 접합 장치의 구성은 Fig.5 과 같다. 레이저원에서 레이저를 발생시키고 mirror를 경유하고, 스캐너를 통하여 원하는 속도와 경로를 컨트롤PC를 이용하여 조절 한다. 아연도금 강판 위에 알루미늄 합금을 겹쳐두고 레이저를 조사하여 알루

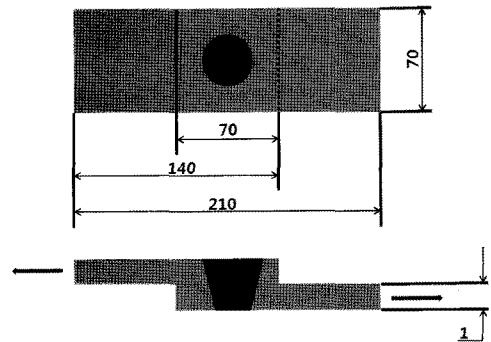


Fig. 4 Configuration of specimen

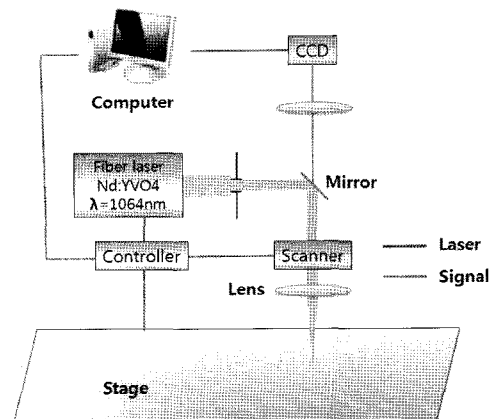


Fig. 5 Schematic diagram of laser welding process

Table 1. Process parameter

Laser type	Yttrium fiber laser
Laser max power(W)	50
Frequency(kHz)	1
Shielding gas(L/min)	N_2 : 30
Spot size(mm)	0.5

Table 2. Laser welding condition of each specimen

Specimen	The number of times	Scan speed (mm/s)	Diameter (mm)	Energy density (W/mm^2)
a	1	10	35	7
b	2	20		
c	3	30		
d	4	40		
e	5	50		

미늄이 녹아내리는 정도를 확인하여 접합 성능을 1차적으로 확인 한다.

2.3 실험 공정 변수

레이저 접합 실험의 고정된 변수는 Table 1과 같다. 실험 변수는 Table 2와 같다. 사용된 레이저는 파이버 레이저를 이용하였으며 조사 횟수를 상승 시켜가며 접합하였다. 스테이지를 고정하고 스캐너를 이용하여 알루미늄 면을 레이저에 노출시키고 용융하여 접합을 시도하는 방향으로 진행 하였다.

2.4 분석방법

시험편을 지그에 장착한 후에 용접 길이는 양 끝단 17.5mm 씩을 제외하고 spot 용접을 하였다. 초점위치는 시험편 표면을 기준으로 하였으며, 출력은 50W로 고정하였다. 보호가스에 따른 영향을 확인하기 위하여 레이저용접 시 주로 사용되는 불활성가스인 질소를 이용하여 용접하였다. 각각의 보호가스는 노즐 직경 4mm로 레이저빔을 뒤따라가도록 공급하였고 그 유량은 30 L/min으로 고정하여 용접하였다. 용접 전 이물질 및 불순물에 의한 불량 가능성을 최소화시키기 위해 시험편 전체를 아세톤으로 세척을 하였으며, 이음부 관리를 통해 No gap 상태를 최대한 유지하였다.

너겟의 실제 사이즈 금속현미경을 이용하여 분석하였다. 각 시험편에 따른 필 및 경도시험으로 확인하였다. 경도계로는 Digital Vicker's hardness tester를 사용하였으며, 적용하중은 1kgf (Hv 1)로 설정하였다. 경도는 상판 기준 하부 0.5mm 아래에서 0.3 mm 간격으로 열영향을 받지 않는 모재까지 충분한 범위를 측정하였다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1 용접부 형상

레이저 점 용접에서 용접부의 형상 즉 용접깊이나 용접단면 형상 등에 영향을 미치는 주요한 인자로는 레이저의 출력, 초점

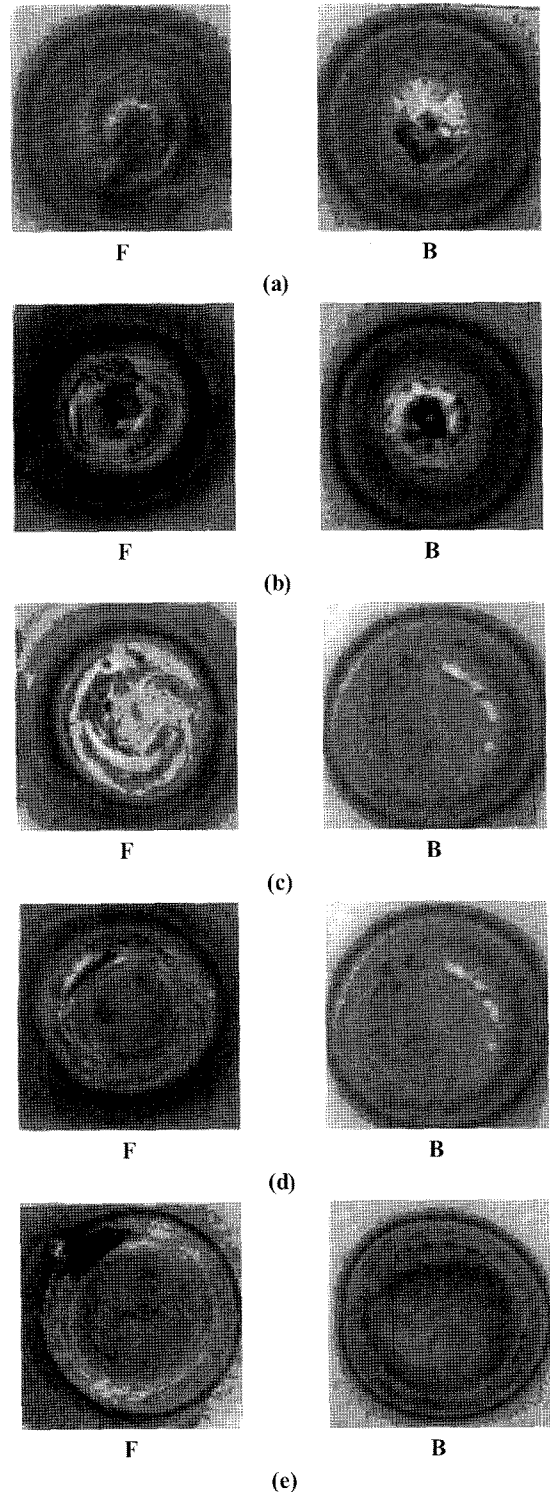


Fig. 6 Shape of weld bead(F: front, B: back)

반경, 용접속도, 초점위치, 재료의 물리적 특징 등을 생각할 수 있다. Fig. 6는 용접 후 비드의 외관을 촬영한 것으로 F는 시편의 앞면, B는 뒷면을 표시한 것이다. 시편들의 용접비드를 관찰해보면 조사 횟수가 적은 시편 (a), (b)는 양호한 현상을 나타내고 있으나 시편 (c)의 앞면을 보면 용접이 끝나는 위치에 약간에 기공이 나타나고 있다. (d)에서는 앞면 비드의 기공이 좀 더 크게 나타나고 있으며 (e)에서는 커다란 크레이터를 형성함을 볼 수 있었다. 이러한 현상은 조사 횟수가 많아짐에 따라 앞면 비드의 형상이 불량해진다는 것을 나타내고 있다. 각 시험조건에 대해 레이저 빔의 조사 횟수가 증가함에 따라 임계값 이상 증가하게 되면 충분한 열전도가 이루어지지 못하게 되어 비드의 형상이 불량한 것으로 사료된다. 용융부의 형상과 관계된 레이저 점 용접부의 최적 조건을 구해보면 회전반경이 커짐에 따라 비드 윗면에서 크레이터 형상의 구멍이 생기고 있음을 알 수 있다.

3.2 경도시험

Fig.7은 시험편 내부 경도에 대한 그래프이다. 경도값에서 레이저 용접부의 경도가 크게 상승하지 않았음을 볼 수 있다. 열영향부의 경도 차이를 비교하였을 때, 최저값은 153 Hv 최고값은 210 Hv로 약 57 Hv 정도의 차이가 생겼다. 이것은 용

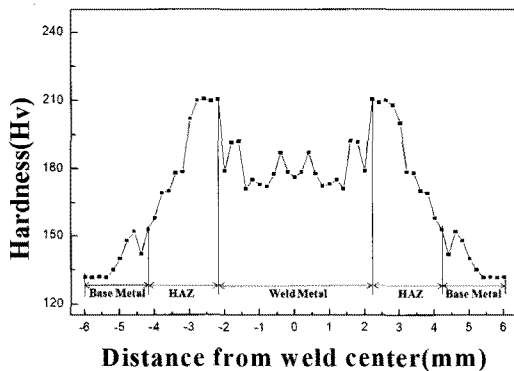


Fig. 7 Experimental results of hardness test

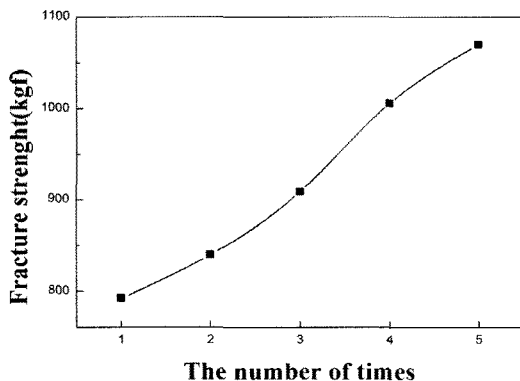


Fig. 8 Experimental fracture of tensile test

접부에 열을 가하였기 때문에 두께와 관련하여 생각하면 레이저 조사 시 N2를 분사하였으나 용접부에서 큰 냉각 속도를 갖는 급냉이 이루어지지 않았음을 알 수 있다.

3.3 인장시험

시편의 인장시험 결과는 Fig.8~10은 각 시편에 따른 결과에 대한 그래프이다. Fig.8는 레이저의 조사 횟수가 많아질수록 인장강도가 상승하였다. 조사 횟수 3~4 회에서 평균 약 97kgf 정도 큰 차이가 났다. 이는 용접부의 전단강도, 열영향부가 상승하였음을 알 수 있다. Fig.9는 조사 횟수에 따른 nugget 크기를 나타낸 그래프이다. 조사 횟수 4~5회에서 약 10mm² 정도 nugget 크기가 상승 하였다. 이는 레이저 조사 시 nugget 부분에서 변형이 심하게 나타게 나타나므로 용접부가 아닌 모재 부분에서 파단이 쉽게 일어날 것으로 사료된다. Fig.10은 조사 횟수에 따른 용융부의 크기를 나타낸 그래프이다. 조사 횟수 1~3회까지는 큰 변화가 없었으나, 4~5회에서는 약 2mm 정도 용융부의 크기가 상승 하였다. Fig.9와 비교하였을 때, nugget의 내부가 용융이 완전하게 일어나지 않았을 뿐 아니라 열전도의 영향에 의해서 용융부가 축대칭을 이루지 못하고 있는 것으로 사료된다.

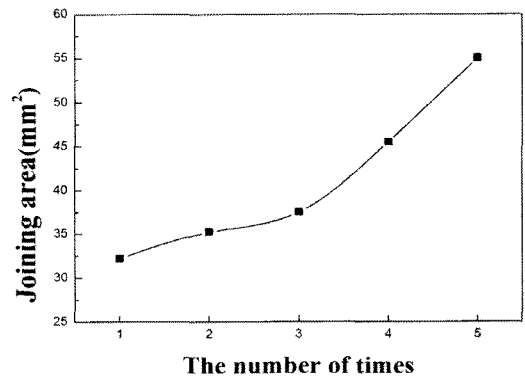


Fig. 9 Experimental results of joining area

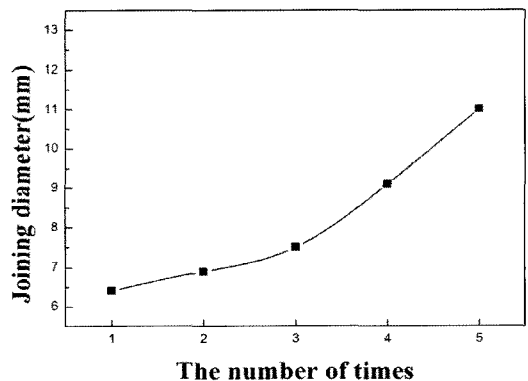
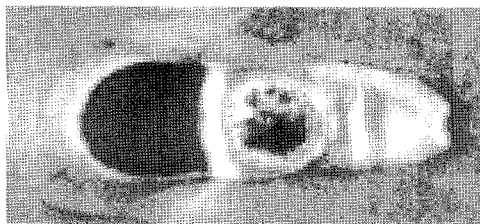


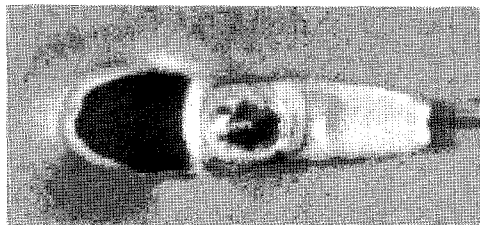
Fig. 10 Experimental results of joining diameter

3.4 Peel 시험

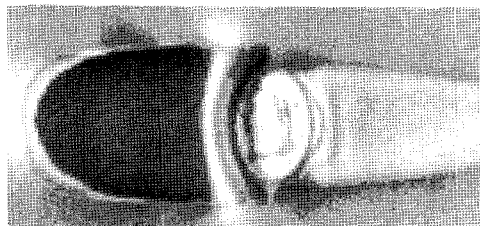
Fig.11는 Peel 시험 후 파단 된 형상이다. 이는 용접부에서 파단이 일어나지 않고 용접부 주위에서 파단이 일어났다. 시편은 파단 하중에 도달하면 소성영역이 거의 나타나지 않고 파단이 진전되었다. nugget의 내부가 용융이 일어나지 않았더라도 용융부가 아닌 모재에서 파단이 일어나고 있으므로 접합부의 면적보다는 접합부의 직경에 의해서 파단 하중이 결정되는 것으로 사료된다. 조사 횟수가 4회 이상인 경우에는 nugget 내부가 완전히 용융되지 못하고 용융부도 축대칭을 이루지 못하고 있는 것으로 사료된다.



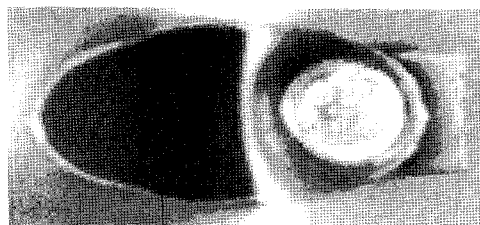
(a)



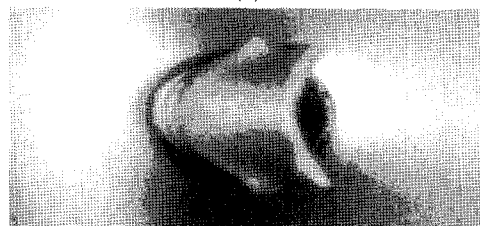
(b)



(c)



(d)



(e)

Fig. 11 Fractograph of peel tested specimen

4. 결론

차체 용접시 현재까지는 저항 점 용접이 대부분 이용되고 있는데 이를 레이저 점 용접으로 조사 횟수와 속도를 변화시키면서 실험한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 아연도금 강판과 알루미늄 합금의 레이저 점 용접의 최적의 조건은 Scan speed 3mm/s, 조사 횟수 3회가 적정한 것으로 사료 된다.
- (2) 레이저 빔의 조사 횟수가 증가 할수록 전단 강도와 열영향부는 증가되나 사용성능은 저하될 것으로 사료 된다.
- (3) 레이저 점용접을 하였을 경우도 용접물에 충분한 강도를 유지하고 있는 것으로 사료되나, 추후 nugget에 대한 피로 시험이 요구된다.

참고 문헌

- (1) Baysore, J. K., and Williams, M. S., 1992, "Laser Beam Welding and Formability of Tailored Blanks," *Welding Journal*, Vol. 74, No. 10, pp. 345-351.
- (2) Lazzarin, P., and Rabino, E., 1995, "Fatigue Behavior of Laser and Resistance Seam Welds in the Automotive Industry," *Welding International*, Vol. 9, No. 1, pp. 19-25.
- (3) Wang, P. C., and Ewing, K. M., 1991, "A Comparison of Fatigue Strength: Laser Beam vs. Resistance Spot Welding," *Welding Journal*, Vol. 70, No. 11, pp. 43-47.
- (4) Wang, P. C., 1991, "Calculation of Laser Beam Weld Specification for Automotive Sheet Steel," *Welding Journal*, Vol. 72, No. 4, pp. 155-163.
- (5) Pspkala, H., 1992, "Technological Problems in Spot Welding of Galvanized Car Body Sheet," *Welding International*, Vol. 94, No. 2, pp 341-346.
- (6) Koichi M., 1980, *Analysis of Welded Structure*, ISTE, Pergamon, pp 328-335.
- (7) Son, S. W., Kim, I. S., Jung, J. W., Kim, J. S., and Na, H. H., 2009, "Control the Welding Quality for Stainless Steel Weldment", *Korea Society of Machine Tool Engineers Spring Conference*, pp. 285-289.
- (8) Na, G. D., Yoo, Y. T., Shin, B. H., and Shin, H. J., 2007, "A Study on the Surface Hardening of SCM4 Steel Using a Continuous Wave Nd:YAG Laser", *Transaction of KSMTE*, Vol. 16, No. 5, pp. 24-32.
- (9) Yoo, Y. T., Shin, H. J., and Jang, W. T., 2004,

- “Surface Heat Treatment of Die Material by Means of CW Nd:YAG Laser”, *Transaction of KSMTE*, Vol. 13, No. 5, pp. 67~74.
- (10) Park. C. E., Li. C. S., and Kim. I. S., 2003, “Mathematical Models for Optimal Bead Geometry for GMA Welding Process”, *International Journal of Korea Welding Society*, Vol. 3, No. 1, pp. 8~16.
- (11) Jang. K. B., Kim. J. H., and Cho. S. M., 2002, “Finite Element Analysis and Measurement on the Release of Residual Stress and Non-linear Behavior in Weldment by Mechanical Loading(I) -Finite Element Analysis-”, *International Journal of Korea Welding Society*, Vol. 2 No. 1, pp. 29~32.