

자기장 영향에 따른 냉연압연 강판의 파이버 레이저 마이크로 접합 공정

이철구⁺, 이우람*

(논문접수일 2011. 11. 03, 수정일 2011. 12. 20, 심사완료일 2011. 12. 28)

A Effects of Magnetic Field For Fiber Laser Micro Welding Process Using Carbon Steel of SCP1-S

C.K. Lee⁺, W.R. Lee*

Abstract

We have studied on welding dissimilar materials of Carbon steel SCP1-S by using laser beam. In this research we have performed some experiments to know the possibility of welding dissimilar materials using laser beam and magnetic fields by adjusting the power output of 35W laser. Other conditions of the experiments were as follows : the welding speed was varied in the range 10 m/min nitrogen gas was used as shield gas, the flow value of shield gas was ranged 10 L/min. In order to ascertain of the welded surface, we have done the tensile strength testing, the hardness testing and the microscope observation. As a result, we have found that tensile strength was the highest at the condition of the welding speed of 10mm/s, the flow value of 10 L/min, the gap of two materials 0, and the use of nitrogen gas. Above testings have also showed that the tensile strength was generally satisfactory since the penetration of welding was almost complete due to the thinness of the materials. In addition, the formation of the welded area was excellent when it had the highest tensile strength.

Key Words : HFiber laser(파이버 레이저), Laser welding(레이저 용접), Magnetic fields(자기장), SCP1-S(냉연 압연 강판), Shield gas(보호가스), Melt pool(용융지)

1. 서론

최근의 재료 개발 추세는 복합화를 기본 개념으로 하여 광범위한 물성의 실현과 응용이 가능한 재료 개발에 역점을 두어, 각 소재가 가진 서로 다른 우수한 물성을 유지하면서 상호 보완적인 효과를 살릴 수 있는 광의의 복합재료를 추구한다⁽¹⁾. 이러한 복합물을 제조하는 방법으로는 종래의 용접 방법으로는 할 수 없었던 이종 금속의 용접이 가능하기 때문에 레이저 용접이

실용화되고 있다. 레이저 용접은 에너지밀도가 106~1012W/cm² 이상 되기 때문에 기존 용접법에 비해 용접할 수 있는 재료의 범위가 넓고 박판과 같은 재료의 가공에도 적용성이 좋다⁽²⁾. 이러한 장점 때문에 여러 분야에서 급격히 실용화되고 있고 이종 재료의 용접에 관한 많은 연구가 진행되고 있다. 현재 레이저 용접이 상용화된 것은 테일러드 블랭크 용접을 이용한 자동차용 새시, 외관의 제조이다. 1985년 독일의 Audi, 일본 Nissan 자동차에서 1998년 일본 전 공장에 도입하였다. 이 기술은 이전에

+ 서울과학기술대학교 기계공학과

* 교신저자, 서울과학기술대학교 NID 융합기술 대학원 (wooramlee@snut.ac.kr)

주소: 서울시 노원구 공릉2동 172

점용접에 비해 강판 소요량을 줄임으로서 생산성을 향상시키고 차체를 경량화 시켰다⁽³⁾. 500W 이하의 출력이 작은 레이저는 금형 보수, 박판 부품 용접용으로 많이 쓰이고 있다. 동일 소재를 레이저 출력 2kW로 용접한 것과 TIG용접한 것을 비교하면 용접 속도가 약 5배 빠르면서 단위 길이 당 에너지는 1/5 정도로 작아 앞으로 레이저 용접이 자동차 공업, 금형 보수 용접 이외에도 많이 상용화되리라 생각된다⁽⁴⁾. 최근 레이저 접합 분야에 자기장을 적용하여 용융지의 개선하기 위한 연구들이 활발히 진행되고 있다⁽⁵⁾. 주기적으로 자기장의 회전필드를 접합부에 적용하여, 금속학적 결정립의 크기를 조정하는데 사용된다⁽⁶⁾. 이는 전자기장과 전도체간에 상호작용을 설명 및 사용하는데 MHD(magneto-hydro-dynamic) 이론이 적용된다⁽⁷⁾. 이에 레이저 접합 공정에 자기장을 적용했을 경우 접합부의 기계적 성질 향상 및 형상 변경이 실현될 수 있다. 본 연구에서 실험재료는 우리 생활과 밀접한 자동차, 가전제품, 건축자재 등에서 광범위하게 사용되는 냉간압연강판(cold rolled carbon steel sheet)의 한 종류인 SCP1-S 를 선택하였다⁽⁸⁾. 열간강판에 비해 두께가 얇고 우수하며 표면이 미려하며 가공성이 우수하다. 이러한 특성에 따라 자동차, 가전기기, 가구, 사무용품, 차량, 건축 등에 직접 사용되거나 아연, 알루미늄, 주석, 크로 등의 도금용 원판으로 사용된다⁽⁹⁾. 레이저 용접에는 여러 가지 가공변수들이 존재하며 레이저빔 출력과 빔 이송 속도가 가장 중요한 요인으로 작용한다. 본 연구에서는 마르텐사이트계인 SCP1-S 에 자기장을 적용하여 레이저 용접성을 실험하고자 한다. 용접 조건 변화에 따른 용접부의 결함, 용입과 비드 형상을 조사하여 용접성을 평가하고, 용접 결함을 제어할 수 있는 용접 기술과 이론적 배경을 구축하였다. 용접부의 미세 조직과 경도의 상관관계를 분석하였고, 인장시험을 통하여 용접부의 신뢰성과 기계적 특성을 규명하였다.

2. 실험장치 및 실험방법

2.1 실험장치

본 실험에서 램프여기 방식의 CW파이버 레이저를 사용하였

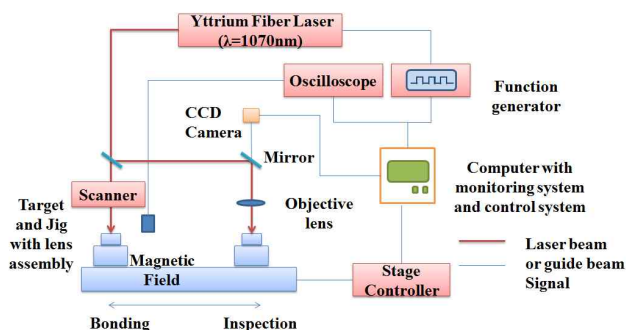


Fig. 1 Experimental setup

다. 본 장치의 최대 출력은 50W를 가지고 있다. 발전기의 최대 효율을 사용하기 위해 출력인 7MW/cm²로 고정하여 실험하였다. 초점위치는 재료 상부표면에 일치하도록 하였다. 용접의 위치를 제어한 후 프로그램을 이용하여 자동 용접하도록 구성하였으며, 이를 통해 맞대기용접을 실시하였다. 또한 보호가스에 따른 용접성에 대해 확인하기 위해 직경 4mm의 구리 노즐을 장착하였으며, 포커싱 위치 바로 뒤에서 60°의 각도로 레이저 빔을 따라가도록 공급하였다(Fig. 1).

2.2 실험재료

본 연구의 목적은 자기장을 이용하여 용융지의 일반적인 형상을 조정하여 기계적인 성질을 상승 시키는 것으로서 냉연강판 SCP1-S 와 자석을 사용하였다. 실험 시험편은 20mm × 20mm 사이즈로 두께는 1mm이다. Table 1은 SCP1-S 의 화학적 조성 및 기계적 특성을 나타낸다. 맞대기용접 실험 시 버(burr)의 영향을 최소화하기 위해 용접 이음면을 밀링 정삭가공을 하였다. 자석은 자속밀도값으로 정의하여 가우스 3000G로 고정된 자석을 이용하였다. Fig. 2은 자석위치에 따른 자기장 방향에 대한 모식도이다. (a)는 자기장을 후면에 인가할 경우 자기장 방향이 왼쪽으로, (b)는 윗면에서 인가할 경우 아래쪽으로, (c)는 왼쪽에서 인가할 경우 후면쪽으로, (d)는 시험편 밀면에서 인가할 경우 자기장이 위쪽으로 향하는 것을 알 수 있다. 일반적인 시험편의 절단면 조직 형상을 확인하기 위하여 4 가지 방향중 (d)를 선택하여 실험하였다.

Table 1 Mechanical property and chemical compositions of SCP1-S specimens(wt%)

	C	Mn	S	P	Ti	Fe
	0.145	0.828	0.0108	0.030131	0.009	Bal
SCP1-S	Tensile strength (MPa)		Yield strength (MPa)		Elongation %	
	400		255		31	

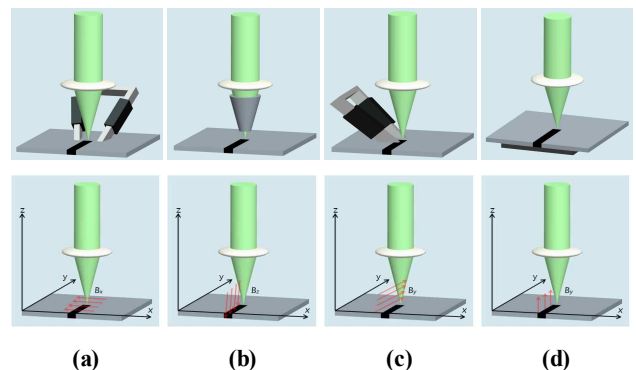
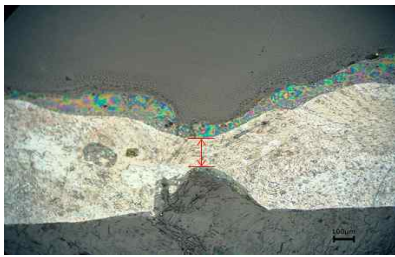


Fig. 2 Effects of various magnetic field

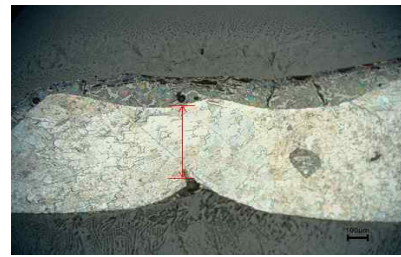
2.3 분석방법

시험편 밑면에 자석을 부착하고, 시험편 전체를 지그에 장착한 후에 용접 길이는 양 끝단 5mm 씩을 제외한 10mm를 용접하였다. 초점위치는 시험편 표면을 기준으로 하였으며, 출력은 에너지밀도로 환산하여 $7\text{MW}/\text{cm}^2$ 고정하였다. 레이저 빔의

이송속도는 $10\text{mm}/\text{s}$ 고정하여 용접하였다. 또한 보호가스는 레이저용접 시 주로 사용되는 불활성가스인 N_2 를 이용하여 용접하였다. 보호가스는 노즐 직경 4mm 로 레이저빔을 뒤따라가도록 공급하였고 그 유량은 $10\text{L}/\text{min}$ 고정하였다. 용접성을 평가하기 위해 용접이 완료된 시험편은 와이어커팅 가공하여 인장

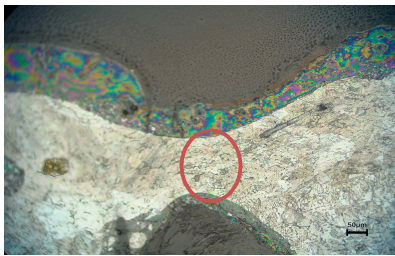


(a)



(b)

Fig. 3 Cross-section and bead shape $\times 200$ ((a) Normal, (b) Magnetic) #1



(a)

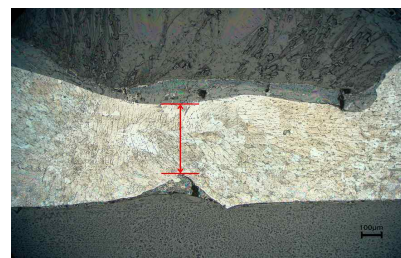


(b)

Fig. 4 Cross-section and bead shape $\times 500$ ((a) Normal, (b) Magnetic) #1



(a)

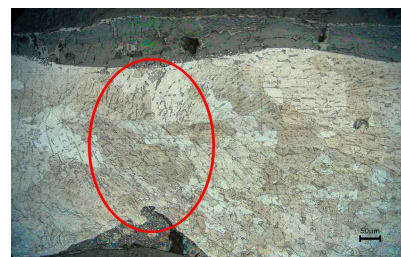


(b)

Fig. 5 Cross-section and bead shape $\times 500$ ((a) Normal, (b) Magnetic) #2



(a)



(b)

Fig. 6 Cross-section and bead shape $\times 500$ ((a) Normal, (b) Magnetic) #2

시험, 경도시험, 미세형상 등을 분석하였다. 인장시험에 사용된 인장시험기는 인스트론 사에 5800 series 로 수행되었으며, 최대 200kN의 용량을 갖는 재료시험기 이다. 시험절차는 KS B 0802에 명시된 절차를 준수하였으며 시험방식으로는 변위제어 방식을 사용하였다. 이때의 시험 속도는 5.0mm/min로 고정하였다. 절단면 및 조직 형상분석은 광학현미경으로 사용하였다. 용입 및 미세형상을 분석하기 위해 용접방향에 수직으로 비드단면을 와이어커팅기로 절단한 후 마운팅(hot mounting) 하였다. 마운팅된 시편의 비드의 절단면을 샌드페이퍼를 이용하여 #100~#1200 까지 #100단위로 증가시켜가며 연마 후 최종적으로 다이아몬드 서스펜션(Diamond suspension) 입도 1 μ m으로 마무리 연마하였다. 이와 같이 시편 준비가 끝난 후 에칭액으로

는 killer's 왕수액을 사용하였다. 에칭은 면봉을 이용하여 시간은 수초간 지속하였다. 경도시험에 사용된 경도시험기는 윌퍼트 윌슨 인스트로먼트 사의 402MVD를 사용하였으며, 적용하중은 50gf(Hv1)로 설정하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 절단면 형상

Fig. 3~6 는 $\times 200$, $\times 500$ 로 2세트로 나누어 실험을 한 결과 관찰한 용입 및 절단면에 미세형상이다. 자기장을 이용한 것은 열적변형이 적게 일어났다. 용융지 경계에서만 조직이 미세하게 조대화 되었을 뿐, 구분할 정도의 열영향 구역이 보이지 않

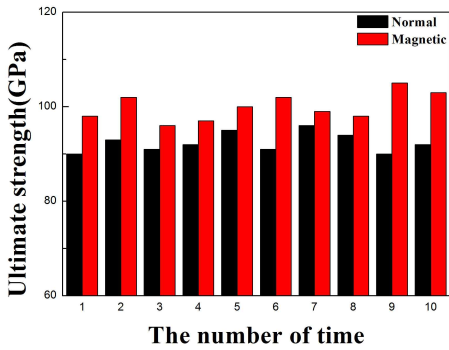


Fig. 7 Experimental results of tensile test #1

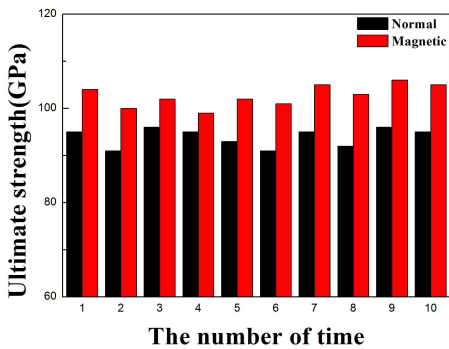


Fig. 8 Experimental results of tensile test #2

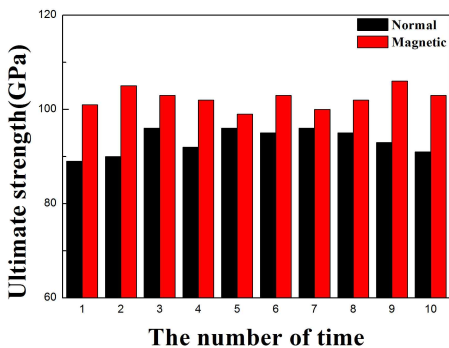


Fig. 9 Experimental results of tensile test #3

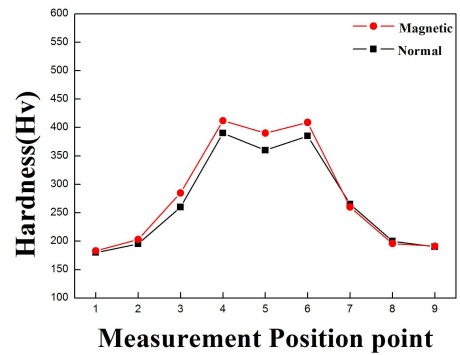


Fig. 10 Experimental results of hardness test #1

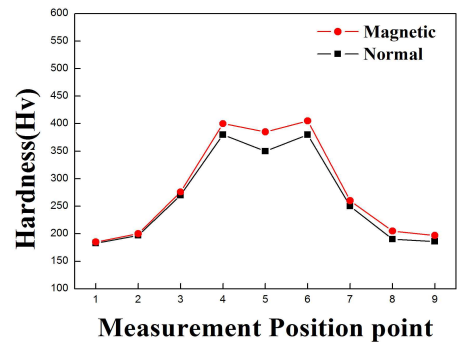


Fig. 11 Experimental results of hardness test#2

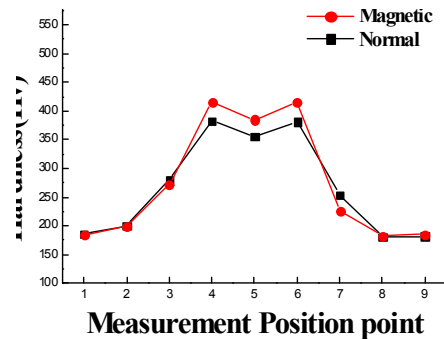


Fig. 12 Experimental results of hardness test #3

았다. 반면 일반적인 레이저 용접은 열적변형이 크게 일어났고, 모 든 구역에서 조직이 조대화 되었다. 또한 금속에 인가된 입열량에 의해 용융지 부분의 조직이 조대화되는 경향을 확인할 수 있다. 이는 열에 의해 자기장 효과가 소멸되지 않고 모재부분에 적용 되었기 때문으로 추정된다.

3.2 인장시험

Fig. 7~9은 인장시험 결과에 대한 그래프이다. 10개의 시험편을 3세트로 나누어 인장시험 한 결과 평균 약 14 GPa 정도의 차이를 보였다. 이는 자기장의 영향에 따라 오스테나이트화된 재질이 조밀한 마르텐사이트 조직으로 변형되었기 때문으로 추정된다.

3.3 경도시험

Fig. 10~12 은 경도시험 결과에 대한 그래프이다. 경도값을 보면 전체적으로 모재보다 높은 경도값을 가졌고, 열영향부의 경도는 높아졌다. 용접 중 용융과정을 거치면서 자기장 영향에 의해 조직이 연화되었기 때문으로 사료된다. 결과 평균 약 12.4 Hv정도 차이가 났다. 이는 용접부 경계에서만 조직이 조대화 되었을 뿐 구분할 정도의 열영향이 생성되지 않았기 때문이라고 추정된다.

4. 결 론

자기장이 용접에 미치는 미세용접 형상을 알아보기 위해 파이버 레이저를 이용하여 냉연압연강판(SCP1-S)을 용접 하였다. 본 실험조건에서 일반적인 레이저 용접과 자기장을 이용한 레이저 용접을 비교분석 하였다. 레이저의 에너지, 용접속도, 보호가스 등의 변수를 고정하여 절단면 조직형상, 인장시험, 내부 경도시험을 통하여 자기장 효과를 검증 할 수 있었고, 기계적 성질이 개선되는 특성을 보였다. 자기장을 이용한 접합공정을 수행한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다. 자기장을 이용하였을 때 열영향부 및 열적변형이 간접적으로 차이가 났다. 인장시험에서 평균 약 14GPa, 경도시험에서 평균 약 12.4Hv 정도 차이가 났다. 자기장을 이용하였을 때 기계적 성질이 향상하였다.

덧붙여, 향후 자기장을 이용한 레이저 마이크로 접합 공정 시 향상된 품질을 위하여 열적영향을 최소화할 수 있는 개선된 공정 연구가 필요할 것으로 여겨진다.

후 기

이 논문은 2011년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임 (No. 20110026755)

참 고 문 헌

- (1) Jia, C., and Xiao, K., 1989, "Improvement of Weld Quality by Electromagnetic Stirring," *Proceedings of the 8th International Conference on Offshore Mechanics and Arctic Engineering*, pp. 117~120.
- (2) Zhang, Y., Quian, B. N., and Gou, X. M., 2002, "Study of Electromagnetic Stirring Refining Microstructures of Pipe-line steel SAW Deposits," *Acta Metrologia Sinica*, Vol. 15, No. 4, pp. 396~400.
- (3) Huang, Q., Hagstroem, J., Skoog, H., and Kullberg, G., 1991, "Effect of Laser Parameter Variation on Sheet Metal Welding," *Int. J. Join Mater*, Vol. 3, No. 3, pp. 79~88.
- (4) Voller, V. R., Brent, A. D., and Prakash, C., 1989, "The Modeling of Heat, Mass and Solute Transport in Solidification System," *Int. J. Transfer*, Vol. 32, No. 1719~1731.
- (5) Matsyda, F., Nakagawa, H., Nakata, K., and Ayani, R., 1978, "Effect of Electromagnetic Stirring on Weld Solidification Structure of Aluminum Alloys (Report I)," *Int. Trans. JWRI*, Vol. 7, No. 1, pp. 111~127.
- (6) Bennon, W. D., and Incropera, C., "A Continuum Model for Momentum, Heat and Species Transport in Binary Solid-liquid Phase Change System-I. Model Formulation," *Int. J. Heat Mass Transfer*, Vol. 30, No. 10, pp. 2161~2170.
- (7) Swaminathan, C. R., and Voller, V. R., 1997, "Towards a General Numerical Scheme for Solidification System," *Int. J. Heat Mass Transfer*, Vol. 40, No. 12, pp. 2859~2868.
- (8) Ni, J., and Incropera, F. P., 1995, "Extension of the Continuum Model for Transport Phenomena Occurring during Metal Alloy Solidification-I. The Conservation Equations," *Int. J. Heat Mass Transfer*, Vol. 38, No. 7, pp. 2161~2170.
- (9) Yoo, H., and Viskanta, R., 1992, "Effect of Anisotropic Permeability on the Transport Process during Solidification of a Binary Mixture," *Int. J. Heat Mass Transfer*, Vol. 35, No. 10, pp. 2335~2346.
- (10) Roplekar, J. K., and Dantzig, J. A., 2001, "A Study of Solidification with a Rotating Magnetic Field," *Int. J. Cast. Metals Research*, Vol. 14, No. 2, pp. 79~98.
- (11) Neilson, D. G., and Incropera, F. P., 1993, "Effect of Rotation on Fluid Motion and Channel Formation during

- Unidirectional Solidification of a Binary Alloy,” *Int. J. Heat Mass Transfer*, Vol. 36, No. 2, pp. 2161~2170.
- (12) 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,” *KSMTE*, Vol. 16, No. 5, pp. 24~32.
- (13) Yoo, Y. T., Shin, H. J., and Jang, W. T., 2004, “Surface Heat Treatment of Die Material by Means of CW Nd:YAG Laser,” *KSMTE*, Vol. 13, No. 5, pp. 67~74.
- (14) 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.