

CW Nd:YAG 레이저를 이용한 니켈도금강판의 레이저용접특성

*신호준¹, 유영태², 신병현¹, 안동규³

¹ 조선대학교 정밀기계공학과, ² 조선대학교 메카트로닉스공학과, ³ 조선대학교 기계공학과

The characteristics of laser welding of Ni coated steel plate using Nd:YAG Laser with a continuous wave

*H. J. Shin¹, Y. T. Yoo², B. H. Shin¹, D. G. Ahn³

¹ Dept. of Precision Mech. Eng., Chosun Univ., ² Dept. of Mechatronics. Eng. Chosun Univ., ³ Dept. of Mech. Eng., Chosun Univ.

Key words : CW Nd:YAG laser, Ni coated steel, Heat input capacity, Micro structure, Bead-on plate

1. 서론

일반기계구조용강인S45C는 인장 강도, 연신율 및 인성이 큰 재질로 건축, 교량, 압력 용기, 차량, 선박, 기관, 보조 기계 등의 비교적 중요한 기계구조부품에 사용된다. 근래에 들어 산업의 고도화로 인한 고온, 마모, 내식성 등에 복합적으로 작용하는 가혹한 환경하에서 사용되는 산업기계류가 증가하고 있다.^[1]

산업현장에서 중요한 기계구조부품으로 사용되는S45C의 경우 좋지 않은 단점을 가지고 있다. 그러므로 다양한 방법으로 소재가 가지고 있는 고유한 성질을 상실하지 않는 용접을 하기 위해 레이저용접에 대한 관심이 집중되고 있다. 레이저 용접은 고밀도 에너지 열원에 의해 단시간에 용융, 응고 과정이 진행되기 때문에 일반용접에 비해 종횡비(aspect ratio)가 대단히 크다. 용입깊이는 깊고, 열영향부(heat affected zone: HAZ)가 작은 용접특성이 있다. 레이저 용접은 용가재를 사용하지 않는 용접방법으로 높은 출력밀도로 매우 짧은 시간 내에 용접하기 때문에 모재로의 열확산이 적어 내부응력이 작게 형성되어 용접변형이 적다. 그래서 레이저 용접은 일반용접에 비해 금속조직이나 기계적 성질측면에서 모재에 영향을 미치는 부분이 매우 작아 우수한 용접성 평가를 받고 있다.^[2,3] 그러나 레이저 용접은 공정변수에 민감하다는 문제점이 있다. 용접공정변수는 레이저빔의 출력, 레이저빔 이송속도, 초점거리, 보호가스의 유량 및 종류가 있으며, 레이저빔의 파장 및 재질에 따라 용접결과가 다양하게 나타나기 때문이다.

본 실험에서 사용된 S45C는 표면층에 니켈을도금한 시편이다. 일반적인 중탄소강은 저탄소강에 비해 탄소함유량이 많아 용접 열영향부의 열화에 따라 각종 기계적, 금속학적 특성 저하된다. 용접부위는 고온균열과 기공이 발생하며, 급랭경화현상이 나타나므로 문제점이 많다. 시편표면에 도금한 니켈은 고온환경에서 우수한 내부식성을 가지고, 상온에서 가공성 우수하다. 치밀한 금속상태에서는 상온의 공기 또는 물에 침식되기 어려워, 산화막의 형성을 억제하는 역할을 한다. 이는 보호막으로 전기도금에 이용된다. 그래서 일반적으로 니켈도금으로 각종 기계부품의 내부식성을 강화시킨다. 이와 같은 이유로 부피가 큰 기계부품의 내부식성을 강화 시키기 위해 니켈도금으로 표면개질 한 후 용접공정에 의해 공정을 마무리하는 작업을 하게 된다.

선행연구결과 Noh^[4]는 펄스 Nd:YAG레이저를 이용하여 니켈도금된 SUM24L와 니켈도금되지 않은 시편의 용접에 관한 연구하였다. 최적공정변수에 의해 용접했을 때 용입깊이가 적절하고, 기공나 균열 등 용접결함이 없고, 용접부의 기하학적인 형태가 균일하게 형성되었다. 그러나 적절치 못한 공정변수로 용접했을 때 응고균열이 발생하였다. 니켈도금된 SUM24L의 경우 균열 경향이 도금되지 않은 시편보다 크게 나타났는데, 이는 니켈도금층에 레이저빔이 조사될 때 표면반사도가 상대적으로 커서 초기 빔 흡수율이 저하되어 용융깊이가 작게 형성된 것으로 판단하였다.

본 연구에서는 CW Nd:YAG 레이저를 이용해서 중탄소강을 니켈도금한 시편의 용접특성을 연구하였다. 용접에 중요한 영향을 미치는 레이저 출력, 용접속도, 초점위치 등의 공정변수를 실험적으로 연구하여 최적의 공정변수를 제시하고자 한다. 또한, 레이저 공정변수의 변화에 따른 용접비드의 폭과 침투깊이 등을 측정하여 각각의 공정에 대한 입열량의 변화 및 내부결함 빈도수를 측정하여 레이저 맞대기 용접의 최적의 공정변수를 찾아내었다. 용접한 시편의 기계적특성은 인장시험을 통해 분석하였다.

2. 실험장치 및 방법

본 연구에 사용되어진 Nd:YAG 레이저는 파장이 1.06 μm 이고, 최대출력은 2.8kW이다. 평균유효출력은 2kW인 연속파(continuous wave : CW)이고, 레이저 빔발산각은 25mrad, 600 μm 인 광섬유를 통해서 전달된다. 광케이블에 연결되어 가공하는 공작대는 LASMA 1054이며, x, y, z 축의 위치정밀도는 각각 5 μm , 5 μm , 1 μm 이며, 반복정밀도는 8 μm 이다.

레이저용접시 표면과 대기중의 오염물질사이의 상호작용을 방지하기 위해서 Ar 가스를 45° 각도, 1bar의 가스압력으로 분사시킨다. 본 연구에 사용된 실험장치의 개략도는 Fig. 1과 같다.

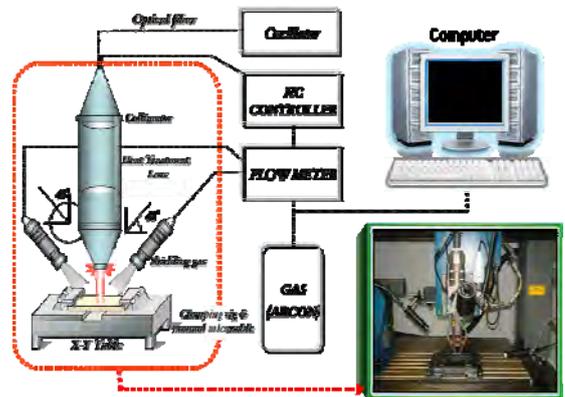


Fig. 1 Experimental set-up

본 연구에 사용된 시편은 일반기계구조용강으로서 니켈도금한 시편과 도금하지 않은 시편을 동일한 공정변수로 비드온플레이트(Bead-on-plate: BOP) 실험하였다. 이때 니켈도금의 두께는 약 0.16 μm 이다. S45C의 화학 조성은 Table 1과 같다.

공정변수를 결정하기 위해 레이저출력에 대한 초점크기를 측정한 결과를 기준으로 하여 작업위치를 결정하였다.

시편은 공작대에 부착된 지그에 고정시키고 용접헤드에서 나오는 He-Ne 레이저광(적색)을 이용하여 용접위치를 확인하였다. 비드온플레이트 실험에 사용된 시편의 크기는 150 x 80 x 4.5mm이다.

Table 1 Chemical compositions of Specimens(wt%)

	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	V	Ni	Fe
SM45C	0.41	1.12	0.41	0.02	0.01	5.2	1.23	1.10	0.70 ~1.3	Bal.

레이저출력을 1800 ~ 2000W, 초점위치는 앞선 실험결과에 맞게 z=0mm 로 고정하고 빔이송속도를 0.65 ~ 3.0m/min 까지 0.25m/min 간격으로 변화시켜 실험하였다.

실험결과를 분석하고, 고찰하기 위해 각각의 공정변수에 대한 용입깊이, 용입폭, 종횡비 값을 계산하였다. 이 실험결과를 이용해서 각각의 공정에 따라 입열량 변화를 계산했다. 시편에 조사된 입열량은 아래식과 같다.

$$E = \frac{P}{W \cdot V} \text{ (J/cm}^2\text{)} \quad (1)$$

위 식에서는 E는 입열량, P는 레이저출력, W는 용접비드폭, V는 레이저빔 이송속도이다.

각각의 공정변수 변화에 대한 용접단면을 관찰하기 위해 정밀금속절단기[isomet 4000 precision saw]로 용접시편을 절단하고 사포로 연마 및 폴리싱 후 Nital 2%로 에칭 하였다. 에칭된 용접비드 경계면은 광학현미경[Nikon:ECLIPSE L150]으로 관찰하였다.

3. 결과 및 고찰

레이저빔이 재료표면에 흡수되는 것은 재료의 물성치와 가공조건에 따라 다르다. 용접에 영향을 미치는 재료의 대표적인 물성치는 반사율과 열전도율 및 전기 전도도이다. 레이저빔이 표면에 조사되면 초점위치에 따라 시편 표면에 미치는 재료별 물리적 성질이 다르기 때문에 흡수도가 달라진다. 이와 같은 이유로 금속표면에 레이저 빔이 조사되었을 때 초점면의 크기가 재료에 따라 다르다.

본 실험에서 사용된 니켈도금된 S45C 와 도금되지 않은 S45C 를 레이저출력과 용접속도, 초점위치를 변화시켜 실험하였다. 초점위치별 시편표면에 흡수되는 초점면의 변화실험은 레이저출력(P)을 500W, 600W, 700W 로 변화시켜, 레이저 빔을 180ms 의 단펄스로 조사시켜 Fig. 2 에 나타냈다. 초점면의 크기는 맞대기 용접 시 레이저빔이 시편 간격 사이로 통과하는 여부와 비드폭의 크기 및 초점거리를 판단할 수 있는 중요한 기준이 된다. 니켈을 도금한 시편에 레이저빔을 짧은 시간에 조사하였을 때 초점면의 크기가 도금하지 않은 시편보다 작았다.

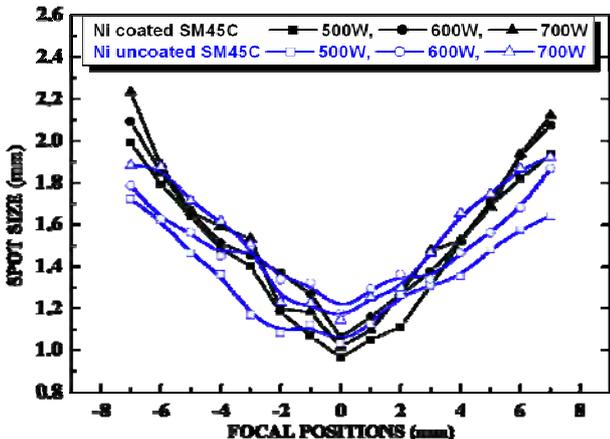


Fig. 2 Influence of welding speed on the aspect ratio

초점거리 z=0(f=200mm)에서 초점면의 크기가 가장 작고, 초점위치를 벗어나면서 디포커싱의 영향으로 초점면의 크기가 증가하였다. 니켈을 도금한 시편의 초점면이 작은 것은 Ni 도금했을 경우 레이저빔을 반사하는 양이 도금하지 않은 시편보다 많아 에너지 흡수율이 작아졌기 때문이다.

Fig. 3 에서 횡축은 용접속도이며, 종축은 종횡비이다. 니켈도금 유무에 대한 종횡비를 비교하면 니켈도금한 시편의 종횡비가 니켈도금하지 않은 시편보다 종횡비가 컸다. 이와 같은 현상은 니켈성분과 철성분의 용융점과 비중의 차이 때문에 니켈도금했을 경우 용융폭은 작고 반대로 용융깊이는 크기 때문이다.

레이저빔의 이송속도가 0.65m/min 로 입열량이 클 경우 종횡비가 작은 현상은 용융폭과 깊이가 동시에 크기 때문에 레이저빔의 이송속도가 1.0m/min 일 때보다 크지 않았다. 레이저빔의 이송속도가 1.0m/min 인 지점을 기준으로 종횡비를 비교하면 출력이 증가할수록 종횡비가 증가하였다.

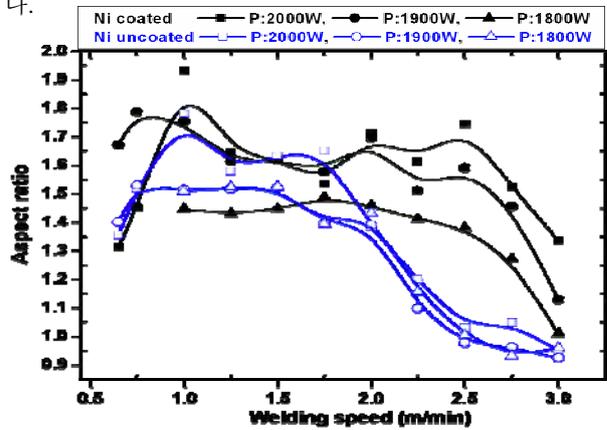


Fig. 3 Influence of welding speed on the aspect ratio

4. 결론

CW Nd:YAG 레이저를 이용하여 니켈도금한 시편과 니켈도금하지 않은 시편을 용접한 결과 초점위치는 z=0mm 로 변화가 없다. 그러나 초점면이 작은 것은 Ni 도금했을 경우 레이저빔을 반사하는 양이 도금하지 않은 시편보다 많아 에너지 흡수율이 작아졌기 때문이다. 종횡비 변화를 관찰한 결과 니켈도금한 시편과 니켈도금하지 않은 시편의 종횡비를 비교했을 경우 니켈도금한 경우가 종횡비가 크지만 출력을 낮추어 1800W 로 하면 오히려 니켈도금한 경우가 종횡비가 작았다. 이런 현상은 니켈도금 했을 경우 충분한 출력으로 시편을 조사하지 않으면 니켈도금 표면에서 반사되는 에너지 양이 상대적으로 많기 때문이다.

참고문헌

1. Khallaf, M. E., Ibrahim, M. A., "On crack susceptibility in the submerged arc welding of medium-carbon steel plates," Journal of Materials Processing Technology, 68, 43-49, 1997.
2. Benyounis, K. Y., Olabi, A. G., "Optimizing the laser-welded butt joints of medium carbon steel using RSM," Journal of Materials Processing Technology, 164-165, 986-989, 2005.
3. Sun, Z., Kuo, M., "Bridging the joint gap wire feed laser welding," Journal of Materials Processing Technology, 87, 213-222, 1999.
4. Noh, Y. T., Kim, B. C., "Welding behavior between Zn-coated steel plate and free cutting carbon steel rod by Nd:YAG laser beam," Journal of KSLP, 4, 30-39.