

Si 첨가강의 레이저용접부 성형성에 미치는 용접변수의 영향

Effect of laser welding variables on the formability of Si added steel welds

박 준식*, 우 인수*, 이 종봉*

* POSCO, 기술연구소

ABSTRACT The aim of present study is to investigate the effect of welding parameters and heat treatment conditions on the formability of the laser welded silicon steel sheet. It was found that there is optimum range of the heat input (0.6~0.7kJ/cm) and gap distance (0.125~0.150mm) for the high tensile strength and the avoidance of the fracture in weld metal. Also, it was essential for the improvement of formability to perform pre- and post-welding heat treatment which cause the uniform mixture of base metal and welding consumable.

1. 서 론

Si 첨가강은 전기 모터나 변압기의 소재로 이용되고 있으며, 현대 산업이 발전함에 따라 사용량이 급속도로 증가하고 있다. Si 첨가강의 용접에는 주로 GTA 용접, 플래시버트 용접, 레이저 용접 등이 적용되고 있으며, 레이저 용접의 경우 입열량이 적다는 장점을 가지고 있어 전기 모터나 변압기의 적층 용접, 압연라인의 코일간 용접에 많이 사용되고 있다³⁻⁵⁾. 레이저를 이용하여 Si 첨가강을 제살용접하는 경우 용접금속의 결정립 조대화로 인해 요구되는 성형성을 확보하기 어려운 것으로 알려져 있다³⁻⁵⁾. 따라서 본 연구에서는 Si 첨가강의 레이저 용접부 성형성에 미치는 용접변수와 열처리 조건의 영향을 체계적으로 규명하고자 하였다.

2. 사용재료 및 실험방법

본 연구에서는 두께 2.3mm의 3wt% Si 첨가강을 사용하였고, 용접와이어는 직경 0.8mm의 고 Ni계 ERNiCrMo-3(AWS 기준)를 사용하였다. 용접은 맞대기 이음부에 출력 12kW의 CO₂ 레이저 용접기를 사용하였으며 용접속도는 4~10m/min의 범위였고, 보호가스는 He 가스(40L/min)를 이용하였다. 용접 예열 및

후열처리는 고주파 유도 가열장치를 이용하였으며 400~900℃의 온도범위에서 실시되었다. 용접부의 성형성을 평가하기 위해 에릭슨 시험을 실시하였으며, 균열이 발생하기 직전까지 변형된 높이를 에릭슨 시험 높이값으로 측정 후, 측정 값들의 상대적인 비교를 통해 용접부의 성형성을 평가하였다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1 용접변수의 영향

레이저용접부의 물성에 영향을 미치는 용접변수로는 레이저출력, 용접속도, 이음부간격, 용접와이어 공급속도, 예열 및 후열처리 온도를 들 수 있다. 각 변수들의 영향을 살펴보기 위해 완전용입이 얻어지는 조건으로 레이저 용접을 실시하여 인장강도와 파단 위치를 조사하였으며 인장강도 및 모재 파단율의 변화를 그림 1에 등고선 방식으로 도식화하여 나타내었다. 그림 1(a)와 (b)에서 알 수 있듯이 용접부 인장강도와 모재파단율이 모두 높은 건전한 용접부를 확보하기 위해서는 용접입열량과 이음부간격의 범위를 각각 0.6~0.7kJ/cm, 0.125~0.150mm에서 제어해야 할 것으로 판단된다.

Matsuda 등⁶⁾에 의하면 레이저용접부의 단면형상은 크게 와인컵(wine-cup) 형상과 우물(well) 형상으로 나눌 수 있으며, 이에 따라

용접부 균열 발생 저항성이 달라지는 것으로 보고하고 있다. 이들은 용접부 표면비드 폭(d_{B0})과 두께 $1/2t$ 지점의 용접금속부 폭($d_{B1/2}$)을 측정된 후 $d_{B0}/d_{B1/2}$ 의 값을 변화시키며 용접부에서 발생한 총균열길이를 측정된 결과, $d_{B0}/d_{B1/2}$ 의 값이 큰 와인컵 형상일 경우 용접부 균열발생에 대한 저항성이 보다 우수하다는 결과를 제시하고 있다. 그러나 본 연구에서 $d_{B0}/d_{B1/2}$ 값과 모재파단율을 측정된 결과 그림 2에서 볼 수 있듯이 임계 값 이상의 $d_{B0}/d_{B1/2}$ 값을 가지는 경우에는 오히려 용접부 균열발생 저항성이 떨어지는 것으로 나타났다.

3.2 열처리조건의 영향

본 연구에서는 고 Ni계 용접와이어를 사용한 경우, Si 첨가강의 레이저용접부에 미치는 예열 및 후열처리조건의 영향을 체계적으로 살펴보았다. 레이저출력, 용접속도, 이음부간격 및 용접와이어 공급속도는 각각 8.4kW, 8.4m/min, 0.15mm, 5.7m/min으로 동일하게 적용하였으며 예열 및 후열처리는 400~900°C의 범위에서 10초간 이루어졌다.

그림 3는 열처리 조건에 따른 에릭슨 시험높이의 변화를 보여주고 있다. 예열처리 온도가 650°C인 조건에서 가장 높은 에릭슨 시험높이를 나타내고 있으며 과열처리를 하는 경우에는 오히려 성형성이 감소하는 것을 알 수 있다. 후열처리 온도의 영향은 예열처리 온도가 낮은 400°C에서는 두드러지게 나타났지만, 예열처리를 650°C 이상에서 실시한 경우에는 그 영향이 거의 없는 것으로 보인다. 그림 4을 살펴보면 예열처리 온도가 낮은 경우에 fusion line 근방에 불균일한 조직이 관찰되고 있으며 그 부근에서 높은 미세경도 값을 보여주고 있다. 모재는 약 240~260Hv, 용접금속 중앙부는 255Hv의 낮은 경도를 보이고 있으나 fusion line 양 끝단에서 각각 330, 405Hv의 높은 경도값을 가지는 것으로 나타났다. 최고 경도를 나타내는 부분을 주사전자현미경(SEM)으로 관찰한 결과 fusion line 부근의 불균일한 조직에서 최고 경도를 가지는 것을 알 수 있으며 이 부분의 성분을 EDX로 분석한 결과 Ni 함량이 매우 낮은 것으로 드러났다. 따라서 fusion line 부근에 생긴 불균일한 조직은 고 Ni계 용접와이어와 모재가 제대로 섞이지 않아

경도가 높은 모재 응고조직이 발생한 것으로 판단된다. 이러한 Si 첨가강의 응고조직은 높은 경도로 인해 균열발생이 용이하여 용접부의 성형성을 떨어뜨리는 것으로 보고되고 있다³⁻⁵⁾. 한편 예열처리를 900°C 이상의 온도에서 실시하는 경우에는 그림 5에서 알 수 있듯이 비드 상단에 균열이 발생한 것을 관찰할 수 있으며 확대 관찰한 결과 용접부 응고균열인 것으로 나타났다. 이러한 응고균열의 발생은 예열처리 온도가 높은 경우에는 후열처리 온도에 관계없이 관찰되고 있고 이로 인해 에릭슨 시험높이의 감소가 일어난 것으로 판단된다. 따라서 Si 첨가강 레이저 용접부의 우수한 성형성을 확보하기 위해서는 650°C에서 예열처리를 실시하는 것이 적절하며 이 때 후열처리 온도는 400~900°C에서 유지하는 것이 바람직하다.

4. 결 론

본 연구에서는 Si 첨가강의 레이저 용접부 성형성에 미치는 용접 변수와 열처리 조건의 영향을 규명하고자 하였으며 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) 용접부 인장강도 및 모재파단율에 미치는 용접 변수의 영향을 검토한 결과 용접입열량은 0.6~0.7kJ/cm, 이음부간격은 0.125~0.150mm 범위에서 가장 우수한 물성을 나타내는 것으로 나타났다.

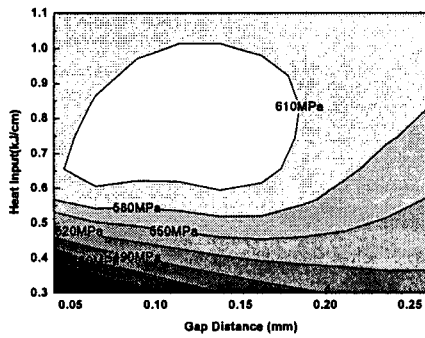
2) 용접부 성형성을 향상시키기 위해 예열 및 후열처리를 실시한 결과, 예열처리는 650°C에서 실시하고 후열처리 온도는 400~900°C에서 유지할 경우 최적의 성형성을 얻을 수 있었고, 예열 또는 후열처리 중 하나라도 생략할 경우 용접선을 따라 취성파단이 발생하는 것으로 나타났다.

참 고 문 헌

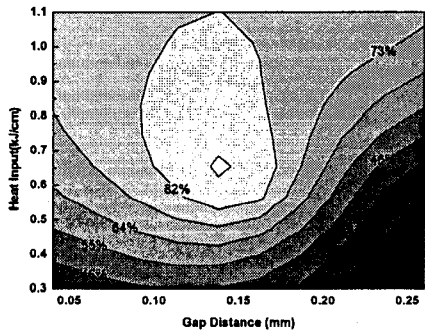
1. K.N. Kim, L.M.Pan, J.P. Lin, Y.L. Wang, Z. Lin and G.L. Chen, Journal of Magnetism and Magnetic Materials, 277 (2004), 331-336
2. J. Barros, T. Ros-Yanez, L. Vandenbossche, L. Dupre, J. Melkebeek and Y. Houbaert, Journal of Magnetism and Magnetic Materials, 290-291 (2005), 1457-1460
3. Miyajaki Hasunobu, Obara Masahiro, Iwami

Hiroshi and Kitahara Shuji : Japanese patent, JP1993-293684 (in Japanese)

4. Miyajaki Hasunobu, Iwami Hiroshi, Obara Masahiro, Saito Toru and Kitahara Shuji : Japanese patent, JP1994-297182 (in Japanese)
5. Miyajaki Hasunobu, Obara Masahiro, Saito Toru, Kitahara Shuji, Suga Yozo, Kuroki Toshiya : Japanese patent, JP1994-299243 (in Japanese)
6. F. Matsuda and T. Ueyama, Welding International, 7 (1993), 686-692



(a)



(b)

Fig. 1 Tensile properties of welds with the variation of heat input and gap distance: (a) tensile strength (MPa) and (b) probability for the tensile fracture in base metal (%).

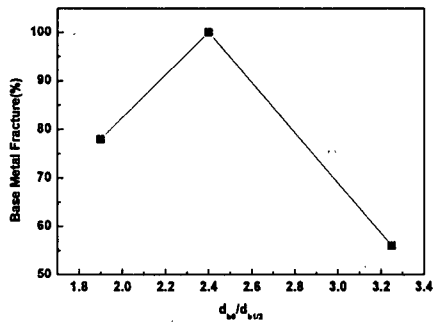


Fig. 2 Resistance for the crack initiation at the welds with the change of bead shape.

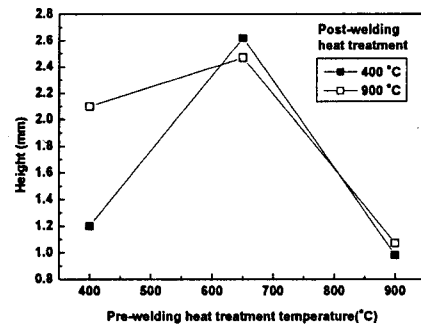


Fig. 3 Erichsen test results with the variation of heat treatment temperature.

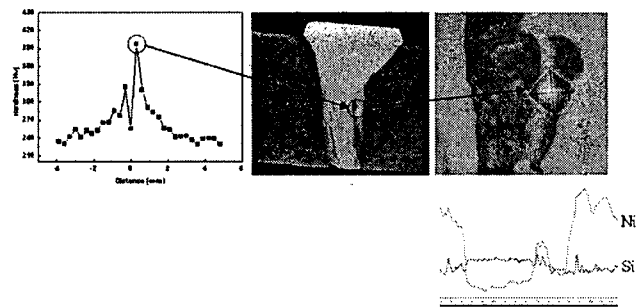


Fig. 4 Micrographs showing the formation of Ni depletion zone near fusion boundary.

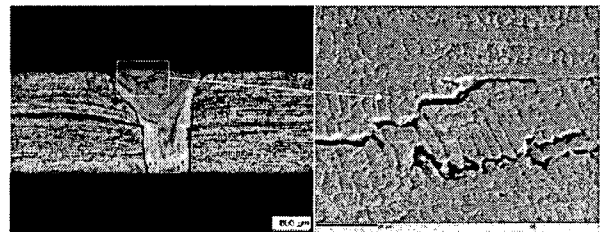


Fig. 5 Micrographs showing the formation of solidification cracks in weld metal which was pre-welding heat treated at 900 °C.