

하이브리드 용접부 품질예측을 위한 시뮬레이션 기초 연구 A Fundamental Study on Simulation for quality estimation of Hybrid weld bead Geometry

김 용*, 조재완*, 김재성*, 류덕희*, 이보영**

*한국항공대학교 항공우주 및 기계공학과 대학원

**한국항공대학교 항공우주 및 기계공학부

1. 서 론

산업의 발달과 더불어 고차원의 기술이 요구됨에 따라 최근 용접기의 공정개선 및 최적 공정변수 선정과 관련된 연구가 활발히 진행되고 있다. 이에 따라 현재 상당부분에서 용접의 자동화가 이루어지고 있으며, 생산성 증가 및 품질에 대한 신뢰성이 향상되었다. 그러나 용접기의 성능이 아무리 우수할 지라도 선정된 용접조건이 적절하지 않을 경우 용접결함이나 예기치 않은 용접부 형상을 초래할 수 있다. 따라서 선정된 용접방법에 따른 용접부 형상 및 용접결함을 예측할 수 있는 방법이 자동화의 발달과 더불어 필수적으로 요구된다. 용접부 품질 예측을 위한 연구는 현재까지 다양한 접근방법으로 시도되고 있으며 크게 분류하면 실험적 방법(experimental technique)과 해석적 방법(analytical method)으로 구분할 수 있다. 해석적 방법은 주로 용융부의 크기를 미리 가정하고, 이를 바탕으로 중력과 표면장력 등의 힘을 고려하여 표면변형에 관한 수학적 모델을 유도하는 방식이 대부분이며, 실험적 방법은 다양한 실험을 통하여 용접부 형상과 용접조건 사이의 관계에 대한 수학적인 모델링을 바탕으로, 선정된 용접조건이 비드형상을 결정하는데 미치는 영향을 예측하는 것이다.

이에 따라 본 연구에서는 중공업 생산성 혁신을 위한 차세대 용접기법인 하이브리드 용접 프로세스의 기반이 되는 레이저 용접에 대해 다양한 실험을 통하여 비드 형상 및 용접 품질에 관한 데이터를 확보하고자 하였다.

2. 실험 방법

본 연구에 사용된 재료는 일반구조용 강재인

SS400을 사용하였으며, 각 실험조건에 대하여 BOP 용접을 실시하였다. 최대 출력 12kW급의 CO₂ Laser 용접기가 본 실험에 사용되었으며 최소 2kW부터 최대 12kW까지의 출력 조건에서 용접속도를 0.5m/min에서 5m/min까지 변화시켜가며 실험을 실시하였다. 레이저 초점은 표면에 위치시켰으며 Shielding gas로는 헬륨(He)이 사용되었다.

용접 속도 및 레이저 출력에 따른 용입깊이의 정확한 측정을 위하여, 10% Nital 용액에 2초간 부식 후 나타난 형상을 실제 사이즈로 스캔하고 CAD 프로그램에서 그 깊이를 측정하였다. 또한 거의 비슷한 용입깊이를 보이는 두 용접 조건(4kW-0.5m/min, 6kW-3m/min)에 대한 마이크로 분석 및 경도 측정을 통해 출력 및 속도가 용접부 품질에 미치는 영향을 확인하고자 하였다.

3. 결과 및 고찰

Fig. 1은 다양한 실험 조건으로 BOP 레이저 용접을 실시한 후 용입 깊이를 각각의 출력 및 속도에서 측정한 결과를 보여준다. 용입 깊이는 동일 출력에서 용접 속도가 증가함에 따라 지수함수의 거동과 유사하게 감소되고 있으며 그 경향은 모든 출력에서 비슷하게 나타나고 있다. 그러나 이들 단면을 확인한 결과, 0.5m/min의 용접 속도에서는 출력에 관계없이 모든 시편에서 크고 작은 기공이 발생하였으며, 8kW 이상의 고출력에서는 1m/min의 속도에서도 기공이 발생된 모습을 확인할 수 있었다. 또한 6kW 이하의 출력에서는 0.5m/min의 속도로 용접시 Fig. 2와 같이 표면 형상이 불량하게 나타났으며 8kW 이상의 출력에서는 ISO 13919-1, 레이저 용접부 결함에 대한 품질 수준 지침에서 규정한 결함 형태중 하

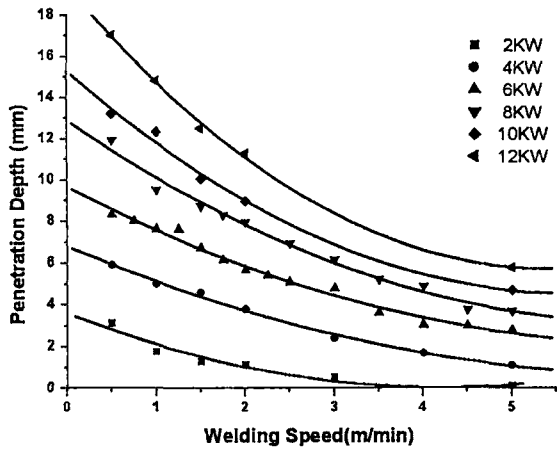


Fig. 1 Penetration depth depending on various welding condition.



Fig. 2 Imperfection of weld bead reinforcement cause of low welding speed.

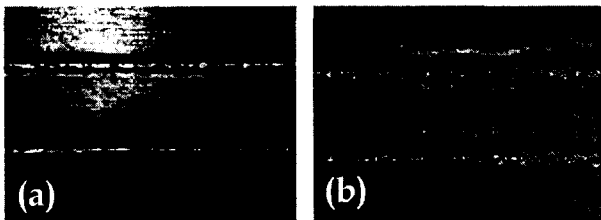


Fig. 3 Generation of spatter according to shielding gas flow rate (a) 20 l/min and (b) 40 l/min

나인 과잉 용착금속(Excess weld metal)이 나타났다.

기공은 동일한 출력 및 속도(6kW-1m/min)에서 용접 모드에 따라서도 달리 나타났는데, 완전 용입이 이루어진 Keyhole 모드에서는 기공이 발생되지 않았으나 Conduction 모드(melt-in 모드)에서는 기공이 생성된 것을 확인하였다.

Fig. 3은 동일한 용접 조건 (6kW - 3m/min)에서 Shielding gas 유량에 따라 스파터가 발생의 차이를 나타내는 그림이므로, He을 보호가스로

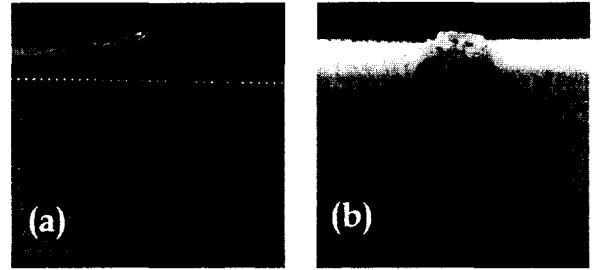
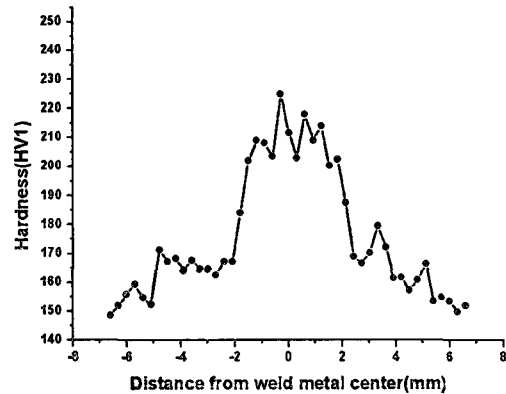
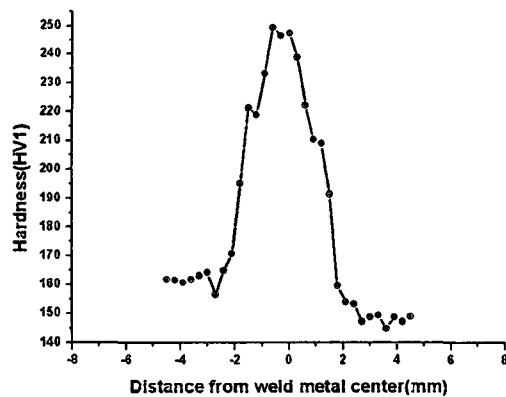


Fig. 4 Same penetration depth but different welding conditions (a) 4kW-0.5m/min (b) 6kW-3m/min.



(a) Hardness test for specimen 4kW-0.5m/min



(b) Hardness test for specimen 6kW-3m/min

Fig 5 Hardness distribution across the weld metal

사용하여 20 l/min 및 30 l/min 으로 용접한 결과를 보여준다. 보호가스 유량이 20 l/min인 경우는 플라즈마의 발생이 현저히 많고 스파터의 발생도 많은 반면, 유량을 증가시킨 경우에는 양호한 비드 형상을 얻을 수 있었다.

이후 거의 비슷한 용입 깊이를 보이는(Fig. 4 참조) 두 용접 조건(4kW-0.5m/min, 6kW-3m/min)에 대한 마이크로 분석 및 경도 측정을 통해 출

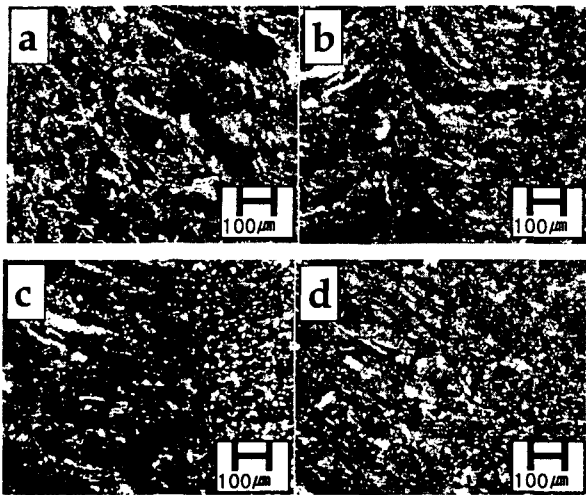


Fig. 6 Microstructure comparison between 4kW-0.5m/min and 6kW-3m/min

력 및 속도가 용접부 품질에 미치는 영향을 확인하기 위하여 1kgf의 하중에 0.3mm 간격으로 경도를 측정하였다. Fig. 4의 (a)는 느린 용접 속도로 인하여 비드폭이 넓고 기공이 다수 생성된 반면에 (b)의 경우는 전형적인 레이저 용접부 형상을 보여주고 있다. Fig. 5의 (a)는 4kW 출력에 0.5m/min으로 용접 후(Fig. 4의 (a) 참조) 경도 측정을 실시한 결과이다. 실험에 사용된 강재의 일반적인 경도값은 155Hv 전후였는데 용착금속 중심부에서의 경도값은 최고값이 약 230Hv가 나타났다. 이에 반해 Fig. 5의 (b)는 최고 경도값이 250Hv 정도를 나타내고 있다. 이와 같이 비슷한 용입 깊이를 가지는 용접 조건에서 경도값의 차이가 나는 이유는 (b)가 (a)보다 용융 및 응고시간이 짧아 Austenite로 변태하였던 조직이 응고되면서 Ferrite로 변태되는 시간이 (a)에 비해 부족했기 때문이다.

Fig. 6은 Fig. 4 (a) 및 (b) 용접부에 대한 용착금속 및 열영향부에 대한 미세조직을 광학현미경을 이용하여 100배로 각각 촬영한 것이다. 용착금속 부위는 용접 조건에 관계없이 둘 다 용접과정 중 고온 용융지에서 형성된 Austenite가 Martensite로 상변태한 모습을 Fig. 6의 (a) 및 (b)에서 확인할 수 있으며, Bainite 조직도 볼 수 있다. (c)와 (d)는 열영향부 위치 변화에 따른 조직 차이를 나타내주고 있는데 용융선에 접근할수록 조직이 조대화되는 것을 볼 수 있다. 그러나 열영향부 크기는 그림에서도 알 수 있듯이 (d)가 (c)에 비해 매우 작으며 조직 구조의 변화도 구간에 따라 현저히 다른 것을 볼 수 있다.

4. 결 론

본 연구에서는 레이저 용접에 대해 다양한 실험을 통하여 비드 형상 및 용접 품질에 관한 데이터를 확보하고자 하였으며 다음과 같은 결과를 얻었다.

- 1) 0.5m/min의 용접속도에서는 출력에 관계없이 모든 시편에서 기공이 발생하였으며, 8kW 이상의 고출력에서는 1m/min의 용접 속도에서도 기공이 발생하였다.
- 2) 0.5m/min의 용접속도에서는 6kW 이하의 출력에서 비드 표면이 불량하게 나타났으며, 8kW 이상에서는 과잉 용착금속이 형성되었다.
- 3) 동일한 출력 및 속도에서 keyhole 모드로 용접시는 기공이 발생되지 않았으나 melt-in 모드에서는 기공이 발생하였으며, 보호가스 유량이 부족한 경우 플라즈마의 생성으로 인해 스파터가 과도하게 발생하였다.
- 4) 기공의 발생을 억제하기 위해서는 용접속도를 보다 빠르게 하는 것이 유리하지만, 이 경우 용융 및 냉각 사이클 간격이 더욱 짧아져 경도값의 상승과 인성 저하가 나타날 수 있다.

후 기

본 연구는 산업자원부 2010 생산기반혁신 기술개발사업의 일환으로 수행되었으며 이에 감사드립니다.

참고 문헌

1. Samuels L. E., Optical Microscopy of Carbon Steel, ASM, Metals Park, Ohio, 1980, P.247
2. Sindo Kou, Welding Metallurgy, 2002, 2nd ed. P232-239.
3. ISO 13919-1, Welding-Electron and laser beam welded joints - Part 1, 1996.
4. M. EL. Rayes, C. Welz and G. Sepold, The influence of various hybrid welding parameters on bead geometry, Welding Journal, May. 2004, p.147-153.
5. Z. Cao, Z. Yang and X. L. Chen, Three dimensional simulation of transient GMA weld pool with free surface, June. 2004, p.169-176.