레이저 Tailored Blank 용접 품질 평가 시스템 개발

Development of Laser TB Weld Quality Monitoring System

박현성*, 박영환**, 이세헌***
*한양대학교 기계공학부
**한양대학교 정밀기계공학과 대학원
***한양대학교 기계공학부

1. 서론

자동차 업계에서 행하여지고 있는 테일러드 블랭크(tailored blanks) 용접에서는 메시 심(mash seam)용접과 레이저를 이용한 용접이 행하여 지고 있으나, 현재는 레이저를 이용한 용접이 가장 활발히 연구되고 있으며, 이러한 레이저 용접과 더불어 레이저 용접 품질 검사방법에 대한 연구가 꾸준히 진행되고 있다.

레이저를 이용하여 고속, 대량으로 용접을 하는 경우에는 용접 품질을 확보하는 것이 중요하여, 레이저 용접 품질 검사 방법이 계속적으로 연구되고 있다. 특히 테일러드 블랭크와 같이 CO_2 레이저를 사용하여 고속으로 용접을 하는 경우, 판재로 사용되는 박판의 상태, 레이저 출력, 보조가스의 유량, 용접속도등 용접변수들의 변화에 의해 용접비드의 상태와 형상등이 변화할 수 있으며, 이것이 용접 결함으로 작용하게 된다. 테일러드 블랭크 용접은 고속으로 용접을 수행하고, 재료의 크기가 크기 때문에 작업자가 육안으로 용접의 양부를 결정하는 것이 매우 곤란하지만, 이것은 전량 품질평가가 요구되고 있어, 실시간적으로 품질 판정을 하는 용접품질 모니터링 시스템의 필요성이 대두되고 있다.

Chen등[1]은 용접부에서 나오는 자외선 신호와 적외선 신호를 동시에 계측하여 용접품질을 판단하였으며, 레이저출력, 보조가스, 용접속도 등을 변화시켜 이에 따른 신호의 거동도 연구하였다. 또한 Miyamoto등[2]은 최대 파장감도가 적외선 파장대(950nm)인 포토 다이오드(photodiode) 두개를 각도를 다르게 하여 플라즈마를 계측한 후 용접품질을 판단하는 연구를 진행시켜 왔다.

따라서 본 연구에서는 레이저 용접시의 플라즈마와 스패터 거동에 대하여 개략적으로 분석하고, 이를 바탕으로 회귀분석과 신경회로망을 사용하여 비드를 예측하는 모델을 제시하고자 한다. 또한 CO_2 레이저 용접시 발생할 수 있는 결함을 실시간적으로 검출할 수 있는 모니터링 시스템을 보이고자 한다.

2. 계측 시스템

레이저 용접에서 키홀(keyhole) 및 플라즈마는 레이저 에너지가 시편에 전달되는 과정에서 중요한 매개 역할을 하는 것으로 알려져 있으며, 스패터는 어느 용접에서나 그 정량적인 결과가 용접 품질에 큰 역할을 하게 된다. 플라즈마와 스패터에서 발생하는 방사력은 열방사 온도계측에 의해 계측하게 되고, 이때 계측하게 되는 CO_2 레이저 용접시의 발생 플라즈마의 파장범위는 190-400nm로부터 1600nm이상의 근적외선 영역에 이르기까지 넓게 분포하는 것으로 알려져 있다.

플라즈마와 스패터의 광신호를 받아들이기 위하여 사용되는 포토 다이오드는 자외선 영역과 적외선 영역의 두 가지 종류를 사용하였다. 실험에 사용하는 장치의 개략도는 Fig. 1과 같다.

3. 플라즈마와 스패터의 거동

아연도금 강판을 레이저 출력 6kW, 용접속도 6m/min으로 하였을 경우에 센서에서 받아들인 신호는 Fig. 2와 같다. 첫번째 UV1센서에서 나온 플라즈마 플룸의 신호를 보면 용접이 시작되는 곳에서 순간적으로 플라즈마 신호가 크게 나오고, 약 0.5sec후에는 안정한 상태가 되어 일정한 전압신호가 나옴을 알 수 있으며, IR센서의 신호도 초기에 큰 신호가 나타남을 알 수 있었다. 이것은 초기 플라즈마의 발생이 정상상태가 되지 못한 것과 레이저 헤드의 이송시 과도성에 기인한 것으로 생각된다. 따라서 용접 비드의 예측시 초기 신호는 데이터로 사용하지 않는 것이 바람직하다.

Fig. 3에는 용접속도를 변화 시켰을 때의 각 센서별 신호의 DC성분 평균 전압과 용접부 단면 사진을 나타내고 있다. 플라즈마 신호는 단순히 레이저 용접시 들어가는 입열량에 비례하여 증가하는 것이 아니라 UV2와 IR센서의 신호로부터 알 수 있듯이 용접속도 9m/min에서4m/min까지는 증가하다가3m/min이 되면 갑자기 감소하게 된다. 이는 4m/min까지는 입열량이 증가함에 따라 발생되는 플라즈마의 광강도가 증가하고, 3m/min에서는 키홀의 밑부분이 열리면서 완전 용입이 일어나 그 곳으로 플라즈마의 일부가 누출되면서 갑자기 계측되는 플라즈마의 광강도가 감소하기 때문이다. 이는 용접부 단면 사진에서 보는 바와 같이 용접속도가 줄어듦에 따라 용입 깊이가 점점 커지게 되고, 3 m/min에서는 완전용입이 일어남을 확실히 알 수 있다. 용입 깊이는 속도가 감소함에 따라 커지게 되고, 비드폭은 속도가 감소함에 따라 커지다가 완전용입시 약간 작아지는 비선형적인 형태로서, UV2나 IR의 신호패턴과 유사하다.

4. 용접비드 예측

신호들과 비드의 크기 사이에는 선형 혹은 비선형의 복잡한 함수관계를 갖고 있다.UV1, UV2, IR 신호와 용입깊이, 비드폭과 관계를 검토하고, 이 데이터들을 이용하여 용입깊이와 비드폭을 예측하기 위해서 통계적인 방법인 다중회귀분석(multiple regression analysis)과 비선형함수의 사상에 적합한 신경회로망을 사용하여 비드 예측 모델을 만들었다.

회귀분석 모델 예측 결과와 신경회로망 예측 결과를 비교해보면, 두가지 모두 예측이 가능함을 알 수 있지만, Fig. 4에서 보는 바와 같이 신경회로망의 성능이 월등히 뛰어남을 알 수 있다. 이와 같은 신경회로망의 5 % 내외 오차는 비드 형상 예측의 타당성 범위 내에 존재하게 되므로, 정확한 레이저 비드 예측시스템으로 사용할 수 있을 것으로 생각된다.

5. 용접품질 평가 시스템

플라즈마와 스패터의 광강도 신호는 레이저 출력, 용접속도, 시편의 상태등에 따라 신호가 변하게 된다. 맞대기(butt) 레이저 용접인 경우에 레이저 출력이 감소함에 따라서 UV1, UV2, IR센서의 신호, 모두가 감소하는 패턴을 나타낸다. 따라서 입열량에 따라 신호가 변화와 초점이탈에 따른 신호변화에 착안하여, 기준신호에 대비한 신호의 크기를 평가하여 용접 품질을 판단하게 된다.

모니터링 시스템을 통해 판단하고자 하는 용접품질의 종류를 양호한 용접이라 할 수 있는 적정입열(optimal heat input)과 결함으로 분류할 수 있는 입열부족(low heat input), 그리고 초점 이탈(focus off)등으로 나누었다. 또한 양호한 용접이 이루어진 시편의 신호를 기준신호로 정한다. 이들 각각의 용접품질에 대비한 기준 신호와의 차이에 대한 상호 관련성으로 결함을 분류, 정리하여 퍼지 패턴인식(fuzzy multi-feature pattern recognition)에 적용하게 된다. 또한 스패터가 발생할 경우에는 IR 신호에서 국부적으로 주변의 신호보다 높은 것이 나타나게 되고 이를 추출하면 스패터를 감지할 수 있게된다. 따라서 본 시스템에서는 스패터의 개수와 위치를 찾는 알고리즘을 추가하였다.

Fig. 5는 적정한 조건에서 양호한 품질을 얻은 용접의 신호를 판정한 것이다. UV1, UV2, IR의 신호 모두 위,아래의 흐린 선들이 허용 오차범위를 나타내는 선들이고, 가운데에 있는 짙은 색의 선이 현재 판단 대상인 신호이다. 그림에서 보는 바와 같이 판단 대상 신호가 모두 허용 오차 범위 내에서 존재하는 것을 볼 수 있다. 따라서 거의 허용 한도내에 신호가 들어옴으로 인하여, 가장 큰 소속도를 나타낸 것이 적정입열이므로 결과적으로 좋은 품질의 용접이 이루어졌음을 알 수 있다.

Fig. 6은 레이저 출력이 낮아졌을 경우를 판단한 것이다. 그림에서 보는 바와 같이 레이저 출력이 상당히 줄어듦으로 인하여 이면비드의 생성이 이루어지지 않는다. 따라서 플라즈마와 스패터의 거동도 출력전압이 많이 낮아진다. 신호가 주로 아래의 허용범위를 벗어나게 된다. 따라서 입열부족의 소속도가 1.39로 가장 높게 되고, 결과적으로는 용접 불량으로 판명하게 된다.

이와 같이 아연도금 강판의 경우 퍼지 패턴 인식 알고리듬을 사용하여 레이저 출력이 변화하여 이면비드가 제대로 생성되지 못하는 경우와 초점이 벗어난 경우, 간극(gap)이 과다할 경우등의 결함의 발생여부를 판정할 수 있다. 본 프로그램은 아연도금 강판의 이종두께 용접을 대상으로 하였으나, 같은 알고리듬을 적용하여 기준신호만 바꾸게 된다면, 여러 가지 강종이나 두께의 용접에 적용할 수 있을 것이다.

5. 참고문헌

1) H. B. Chen, L. Li, D. J. Brookfield, K. Williams, and W. M. Steen, Laser Process Monitoring with Dual Wavelength Optical Sensors, Proceeding of ICALEO '91, pp. 113-122, (1991)

2) K. Mori, H. Sakamoto, and I. Miyamoto, Detection of Weld Defects in Tailored Blanks, 日本溶接學會 論文集, 14(4), pp. 689-693, (1996)

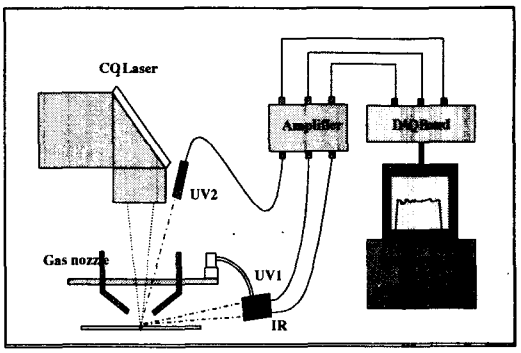

Fig. 1 Schematic diagram of the system

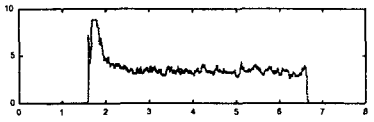

Fig. 2 Signals of sensors

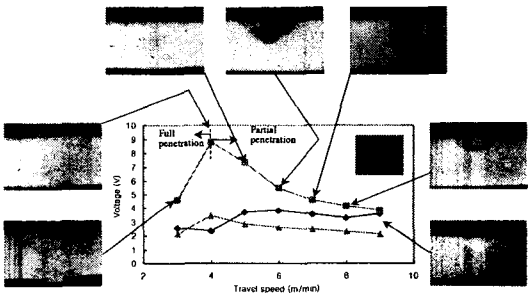

Fig. 3 Signal of sensors and bead shape with travel speed

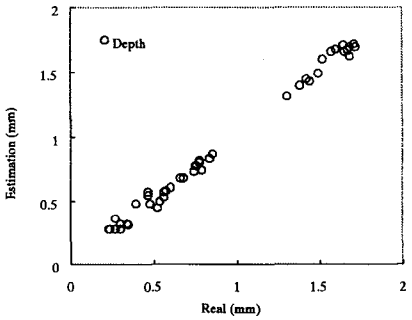

Fig. 4 Real vs estimated depth by neural network

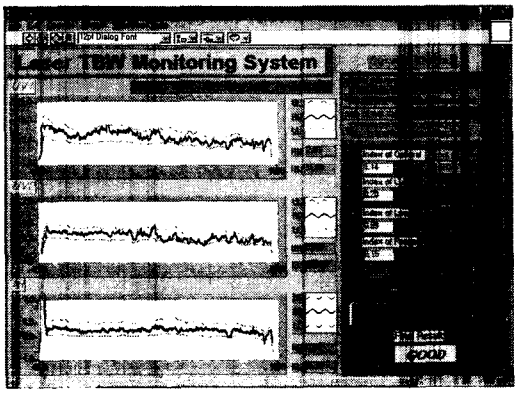

Fig. 5 Example of quality monitoring (optimal heat input)

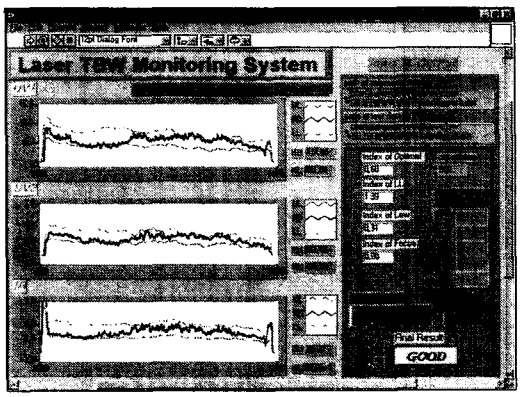

Fig. 6 Example of quality monitoring (low heat input)