CO_2 레이저 용접을 위한 용접부 표면 온도 분포 측정 장치에 관한 연구(I)

이 목영*, 김 재웅**
* 포항산업과학연구원 용접연구센타
** 영남대학교 기계공학부

A study of the Surface Temperature Profile Measurement for CO_2 Laser Welding

Mok-Young Lee*, Jae-Woong Kim**
* Welding Research Center, RIST, Pohang, Korea, 790-330
** School of mechanical engineering, Yeungnam Univ. Kyongsan, Korea, 712-749

1. 서 론

CO_2 레이저 용접에서 레이저빔의 직경은 0.5mm 이하로 작기 때문에 용접품질은 피용접재의 이음부 상태에 크게 영향을 받는다. 또한 레이저용접은 대부분의 소재를 접합하는 것이 가능하지만, 단위 용접길당 비용은 아크용접 혹은 저항용접에 비하여 매우 높다. 따라서 레이저용접에서는 고비용의 단점을 상쇄시킬 수 있을 정도의 우수한 용접품질이 유지되어야 하므로 용접부 품질의 관리가 무엇보다도 중요하다.

레이저용접에서 레이저 공정에 관련 있는 모니터링대상은 플라즈마발광, 용융지온도, 레이저빔의 반사 및 음향방출신호 등이다. Miyamoto and Mori는 포토다이오드를 사용하여 플라즈마 플룸의 상태를 측정하여 완전용입을 판정[1]하였다. Houlot은weld pool에서 방사되는 적외선을 측정하여 용접부 결함발생과의 관련성[2]을 밝혔다. Chang은 재료의 표면에서 반사되는 레이저 빔을 측정하여 용접상태를 판정[3]하였다. Duley and Mao는 재료의 표면상태에 따른 acoustic emission의 특성[4]을 조사하였다. 상기의 방법들은 주위의 환경에 영향을 많이 받거나, 용접부품질과의 상관성이 제한적이다.

본 논문은 레이저 용접에서 용입 깊이를 실시간으로 예측하기 위하여 용접부 표면의 온도분포를 측정하는 장치의 개발에 관하여 연구하였다.

2. 용입깊이 예측모델

레이저 용접은 고밀도로 집속된 레이저빔에 의한 재료의 가열/용융에 따른 키홀 형성에 의하여 이루어지며 아크용접에 비하여 용접부 폭의 변화가 작다. 그러나 용입깊이는 소재에 가해지는 입열량 혹은 초점위치 등의 용접조건에 따라 큰 차이를 나타내는데, 이러한 레이저 용접부의 특성은 비드외관 검사에 의한 품질관리에 어려움을 초래한다.

레이저용접부는 레이저빔의 흡수에 의하여 용융지가 형성되고 용융지에서 모재로 열전달되어 용융지 중심이 가장 온도가 높고 모재쪽으로 갈수록 연속적으로 감소하는 형태를 나타낸다. Fig. 1은 레이저 용접부의 비드형상에 따른 표면온도분포에 대한 모델을 도시한 것이다. 레이저출력이 낮거나 소재의 이송속도가 지나치게 빠른 경우 부분 용입이 형성된다. 이 경우 레이저빔과 수직한 방향으로 열전달이 이루어질 뿐만 아니라 레이저빔과 평행한 소재의 두께방향으로도 열이 전달된다. 또한 용접 비드표면에서는 복사에 의해 열손실되어 그림의 온도분포 그래프에 나타낸 것과 같이 용접선 중앙에서는 온도가 높고 모재로 갈수록 온도가 감소하는 정규분포형태를 보일 것이다. 적정 용접조건에 의하여 입열량이 충분한 완전용입의 경우는 그림에서 보는 바와 같이 레이저빔에 수직한 소재의 폭방향의 열손실이 주로 발생하며, 레이저빔에 평행한 소재의 두께방향은 복사에 의하여 열손실되므로 용접선 중앙에서의 최고

온도는 부분 용입보다 높을 것이다. 한편 레이저 출력이 낮거나 초점거리가 부적합한 경우에는 용융은 거의 이루어지지 않으므로 최고 온도가 매우 낮고 온도분포의 폭은 오히려 넓을 것이다. 반대로 레이저출력이 지나치게 높은 경우에는 용락이 발생하며 이 경우에는 용접선 중앙에서는 온도가 검출되지 않고 주위만 다소 가열될 것이다.

레이저 용접에서 용접비드 표면의 온도분포에 대한 정보를 정확하게 획득하게 되면 레이저 용접부 품질의 정확한 판정 및 실시간 제어가 가능할 것으로 판단되었다.

3. 실험방법

레이저 용접부 표면온도분포는 적외선 감지장치를 이용하여 측정하였다. 사용된 적외선 감지장치의 분광학적 특성은 900~1,700nm 파장범위의 근적외선에 대해 반응하는 InGeAs PIN 배열센서를 사용하였다.

온도측정장치의 구성은 Fig. 2에 나타낸 것과 같이 Cu 반사경으로 빛을 굴절시켜 레이저헤드와 온도측정장치의 간섭을 방지하였으며, 렌즈의 앞부분에 slit을 설치하여 측정영역 이외의 부분에서 방사되는 빛을 차단하였다. 이러한 빛을 렌즈로 집속시켜 적외선 센서에 조사되게 하였다. 렌즈 사이에 850nm 이상의 장파장빛만을 통과시키는 필터를 사용하여 레이저플라즈마에 의한 영향을 방지하였다. 적외선 센서의 신호는 Pre-amplifier으로 증폭시킨후, A/D 변환하여 컴퓨터로 계측하였다.

적외선 온도측정장치는 폭 5mm 및 길이 100mm의 강판 중앙에 thermocouple을 부착한 후, 양단에 전류를 공급하여 저항가열시켜 온도를 보정하였다

용접부 표면온도측정에 사용된 소재는 0.002%C가 함유된 두께 0.8mm의 냉연강판이었다. 시험에 사용된 레이저는 미국PRC 사의 3kW급 CO_2레이저이었다. 레이저의 제원은 집속위치에서 빔직경이 0.3mm이었으며, 집속광학계는 초점거리 5″인 parabolic mirror를 사용하였다. 온도측정은 BOP용접에서 레이저빔을 중심으로 후방 2mm 지점에서 측정하였다.

4. 실험결과 및 고찰

적외선 온도측정은 시편표면으로부터 센서까지의 거리변화에 따라 센서출력이 변화하며, 본 연구에서는 소재를 일정한 온도로 저항가열시킨 후 열전대를 사용하여 비교 측정하였다. Fig. 3은 적외선 온도측정장치의 온도보정결과를 나타낸 것이다. 그림에서 온도가 낮은 600℃의 경우 15픽셀 이하 혹은 22픽셀 이상의 기저수준은 센서의 출력이 0에 가까웠으며, 적외선이 방사되는 16~20픽셀의 출력전압은 0.2볼트 가량이었다. 온도가 증가할수록 센서의 출력은 증가하였으나, 온도곡선의 형태는 장방형과 유사한 형태를 보였다. 소재강판의 가열온도 1100℃에서 적외선 온도측정장치의 출력전압은 10볼트로 포화되어 보다 낮은 온도에서 측정한 결과와 다른 양상을 보였다. 한편 소재의 가열온도가 증가할수록 기저온도가 증가하였는데, 이러한 이유는 정도의 차이는 있지만 모든 방향으로 복사열전달이 이루어졌기 때문이다.

Fig. 4는 여러 온도에서 적외선 온도측정장치의 출력전압의 최고치를 나타낸 것이다. 그림에서 심볼은 실제 측정점이며, 실선은 측정데이타를 근거로 회귀분석한 결과이다. 회귀분석시의 함수는 복사열전달에서 복사에너지의 량이 온도의 4제곱에 비례한다는 점에 근거하였다. 두께 0.6mm의 냉연강판을 저항가열하는 경우 적외선 온도측정장치의 출력전압과 온도는 $Temp.=833.6754xV^{0.1632}$의 관계이었으며, 신뢰도는 99.9%이상이었다. 적외선온도측정장치의 출력전압은 대략 온도의 6제곱에 비례하였다. 이러한 차이는 복사대상이 흑체가 아니며, 센서의 출력이 입력에너지와 선형적인 비례관계를 갖고 있지 않았다는 점등 여러 가지 외란요인이 작용하였기 때문으로 판단된다.

Fig. 5는 레이저 출력 820W, 이송속도 3m/min 및 초점위치 시편표면의 용접조건에서 두께 1.0mm의 극저탄소 냉연강판을 BOP 용접한 결과를 나타낸 것이다. 상부의 사진은 용접비드의 단면형상을 나타낸 것으로 입열량이 부족하여 완전용입이 이루어지지 않았으며, 소재강판 두께의 65% 가량 용입되었다. 사진 아래의 비드표면 온도분포 그래프에서 온도분포는 비드의 형상과 유사한 분포를 나타내었으나, 비드 중심에 해당하는 14~18 픽셀 구간은 오히려 온도가 감소하였다. 이러한 원인은 열전도도가 극히 낮은 용접비드 표면의 산화물층에 기인하는 것으로 적외선 온도측정시 비드 인접한 열영향부의 온도가 비

모재표면의 산화물층 보다 높게 측정되기 때문이다. 또 다른 이유는 용접부 표면에서 방사되는 적외선을 집속하기 위하여 광학 렌즈를 사용하였는데, 이때 용접비드폭에 대한 측정정밀도를 향상시키기 위하여 적외선센서를 집속렌즈의 초점거리보다 짧은 위치에 배치하였기 때문이다.

Fig. 6은 레이저출력 1500W, 이송속도 3m/min 및 초점위치 시편표면의 조건에서 BOP 용접한 결과를 나타낸 것이다. 상부의 단면조직사진에서 충분한 입열에 의하여 완전한 용입이 이루어졌다. 하부의 용접부 표면온도분포 그래프는 Fig. 9의 부분용입의 경우와 유사한 경향을 보인다. 그러나 용접부 온도가 부분용입에 비하여 높았으며 가열폭 또한 부분용입에 비하여 넓었다.

5. 결 론

두께 1.0mm 자동차용 냉연강판을 대상으로 용접부 표면온도와 용접부형상의 관련성을 알아보았다. 용접부 표면온도와 용접부 형상은 연관성이 매우 큰 것으로 보여 레이저 용접에서 용접품질관리에 유용하며, 용입깊이를 일정하게 유지하기 위한 제어인자로 활용이 가능할 것으로 판단되었다.

참고문헌

I. Miyamoto and K. Mori; Development of in-process monitoring system for laser welding, ICALEO '95 Proceedings, 759-767

2. Maurice Houlot and Enrique Nava-Rdiger; Integration of real time quality control systems in a welding process, ICALEO '95 Proceedings, 563-572

3. Dale U. Chang; Real-Time laser weld quality monitoring system, ICALEO '95 Proceedings, 1128-1137

4. Duley, W.W., and Mao, Y.L.; Effect of surface condition on acoustic emission during welding of aluminium with CO_2 laser radiation, Journal of Physics, D-Applied Physics. 27-7 (1994), 1379-1383

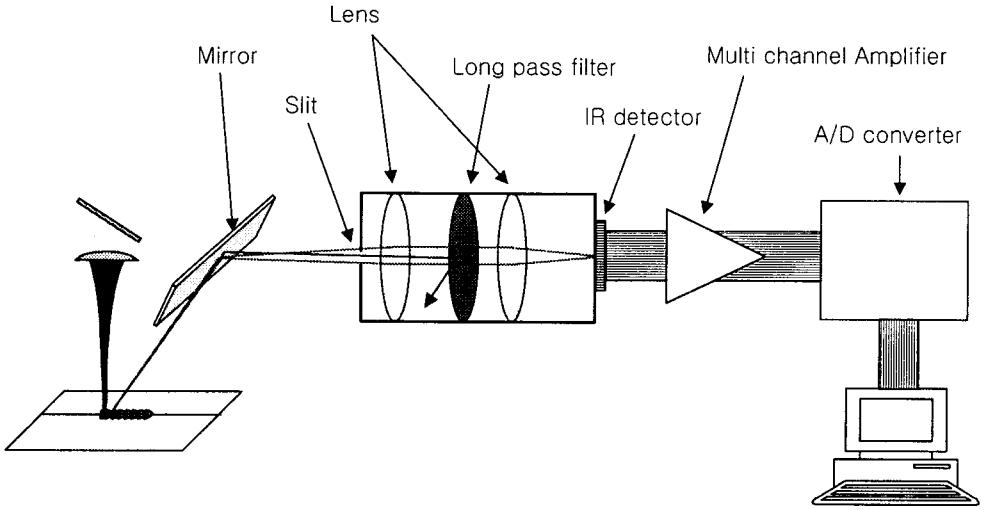

Fig. 1 Sketch of the surface temperature measurement system

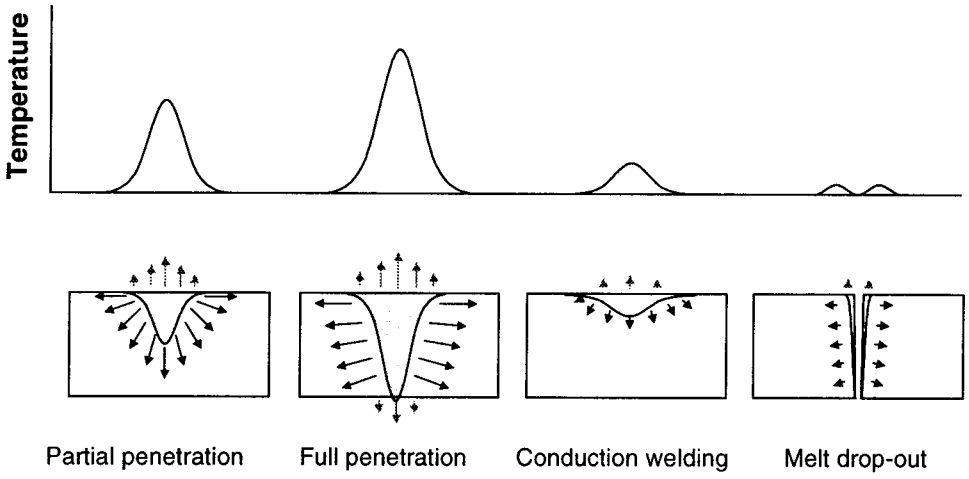

Fig. 2 Model of surface temperature in laser welding

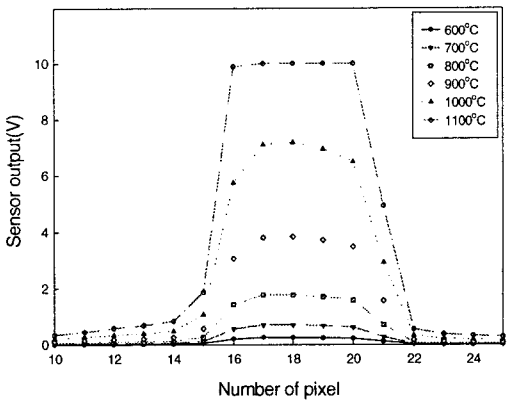

Fig. 3 Profile of surface temperature of resistance heated steel sheet

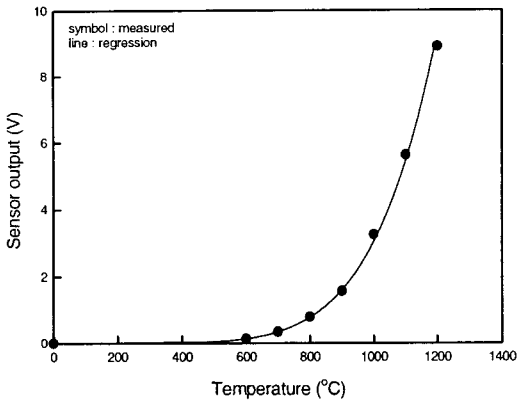

Fig. 4 Relationship between temperature and sensor output

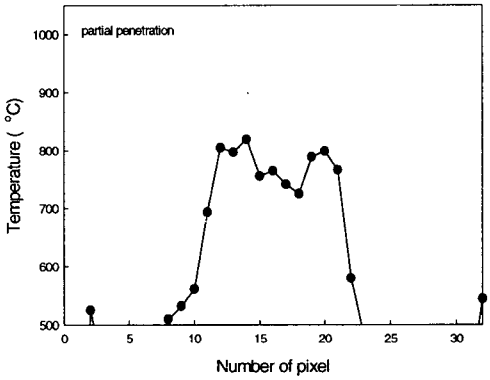

Fig. 5 Relationship between bead shape and surface temperature profile at partial penetration

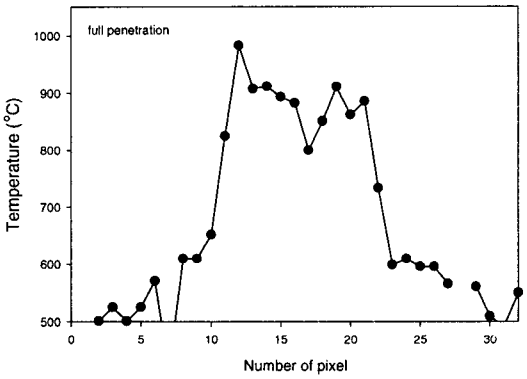

그림 6 Relationship between bead shape and surface temperature profile at full penetration