

전자빔 용접에서 이온전류에 의한 On-Line Process Monitoring

윤충섭, 양상민, 방세윤, 김인용
한국기계연구원 레이저가공 연구그룹

1. 서 론

지난 30년간 전자빔 용접은 생산분야에서 꾸준히 그 중요성이 인식되어 왔다. 그러나 전자빔 용접은 기술적인 장점에도 불구하고 장비고가라는 단점으로 인해 널리 활용되지 못하고 있다.

전자빔 용접 또는 전자빔을 응용한 생산기기의 활용도는 산업의 고도화에 비례한다. 예로 전자빔을 응용한 진공증착기는 안경 렌즈의 다층 박막코팅에 활용되어 국내에서도 널리 보급되어 왔다. 그러나 전자빔 용접은 항공, 방산 및 소형 정밀가공에 주로 활용되므로 국내에서는 일부에서 외국의 기술로 생산에 활용되고 있을 뿐이다. 그러나 국내산업이 고부가 가치화를 창출하는 형태로 전환되는 과정이므로 전자빔 용접의 수요는 확대될 것으로 사료된다.

이에 대비하여 본 연구 그룹은 전자빔 용접기 설계 및 제작에 힘을 기울이고 있다. 또한, 그 활용 가치를 극대화 하기 위하여, 본 연구 그룹이 소유한 전자빔 용접기를 이용하여 몇 가지의 특수용접을 성공리에 끝냈다.

본 연구는 전자빔 용접할 때에 발생하는 이온 전류의 세기를 on-line으로 측정하여 부분 침투 및 완전 침투를 monitoring하도록 하였다.

2. 본 론

전자빔 용접의 기술적인 문제를 해결하기 위하여, 아직 규명을 하지 못하는 몇가지의 근본 문제로 인하여 많은 실험 혹은 monitoring을 통하여 가장 적절한 용접조건을 찾아 수행한다. 전자빔 용접의 이론 및 실제의 문제에서 가장 근본적인 문제는 전자빔과 용접대상물의 상호작용에 의한 재료의 용융, channel의 거동, 응고 등이다.

전자빔의 운동 에너지가 용접대상물에서 금속의 용융 및 증기로 만드는 에너지로 변화함은 물론이고 용접풀에서 금속 증기의 유동 운동, 반력, 동적압력 에너지로 변화한다. 이는 용접풀에서 동적인 증기 channel을 형성하는데, 이 channel의 동적 및 정적인 성질을 규명하기 위하여 여러가지 모델링을 하여왔다. 그중 channel의 모양을 원통형으로 보고, channel의 깊이와 직경이 평형상태에서, 전자빔에 의해 액화된 금속 표면으로 부터 외란이 발생하여 요동한다고 하여 동적인 특성을 파동 방정식을 이용하여 유도하였다[1]. 가령 초점의 위치의 변화로 야기되는 평형상태에서의 외란으로 액화된 표면에서의 파동의 주기는 평형상태보다 상당히 증가함을 나타내는데, 이로인하여 프라즈마의 생성이 보다 커진다. 정적인 특성으로는 움직이는 channel의 주위 온도 분포를 구하기 위하여, channel의 단면을 원형으로 가정하고 깊이에 따라 반경이 작아지는 형태 [그림 1.a.]로 하여 모델링을 하였다[2].

반면, 그림 1.b.[3]은 최하점을 가진 계곡의 모양이다. 수학적 모델링보다는 channel에서의 동적인 거동을 channel벽에서의 기하학적 변화에 따른 열 동력학적 변화로 보고 접근하였다. 여기서 점선은 평형상태 profile를 나타내는데, 이것의 경사도는 용접속도와 용접대상물의 재질에 따라 다르다. 실제 단면은 용융 금속의 동적 유동에의하여 점선 좌우로 편차(외란)가 생긴다. 용접속도가 22m/h에서 많은 외란이 있는것을 알 수가 있고 3m/h에서는 평형상태 profile를 유지함을 알 수가 있었다. 금속재질로는 타이타늄이 안정적인 profile을 가짐을 알았다[4]. 점선보다 더 평행하다면 더 많은 단위당 전자빔의 운동에너지를 받아 더 높은 비율의 금속용융 및 금속 증기를 발하게 된다. 이러한 금속증기로 인하여 국부적인 압력의 증가는 channel벽 뒤면의 응고되고

있는 면에 작용하여 용융금속의 유출과 튀어나오게 하는 원인이 된다.

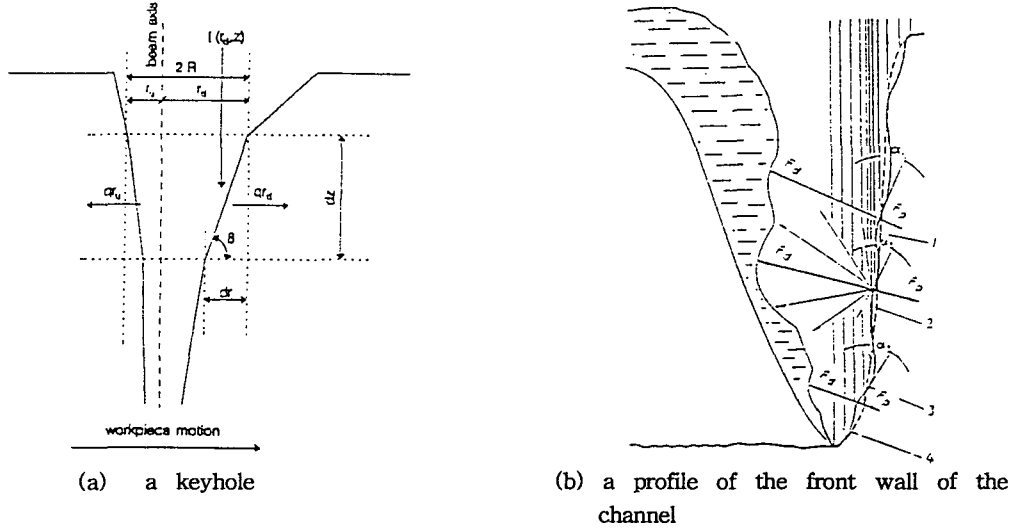


그림 1. Various Models of the Welding Channel

플라즈마로 인하여 생기는 이온 전류를 관찰함으로써 용접 결함의 일부를 on-line으로 알 수 있다. 가령 플라즈마의 이온전류가 진동을 하면, channel의 평형상태에서 외란이 발생하여 불안정하다는 것을 의미한다, 이 교란되는 양이 커질수록, 용접에서 결함을 야기할 가능성은 매우 높다. 즉, 이온전류가 안정하도록 용접 변수를 설정하여야 한다.

다른 한편, 전자빔 용접에서 전자빔을 circular oscillation을 하면, 검출되는 이온전류의 파형은 oscillation하지 않은 전자빔 용접보다 더 안정하다[5]. 이는 전자빔 용접에서 전자빔을 circular oscillation하면 용접 결함을 감소할 수 있다는 것을 의미한다. 이온전류의 교류성분, 직류 성분의 변화의 특성으로 용접 결함의 형태를 추정할 수 있고[6,7], 또한 이온전류의 양으로 용접 침투의 양을 알아 볼 수가 있다[8]. 이와같이 이온전류의 크기 및 진동수를 측정함으로써 용접결함 및 용접조건을 찾을 수 있다.

3. 장 치

이온 전류의 collector는 진공 작업실에 그림 2.과 같이 설치하는데, 진공 작업실와는 절연이 되도록한다. 일정한 -100V의 직류전압을 외부로 부터 이온 collector에 공급한다. 이온전류는 collector에 공급되는 전류의 양으로 측정한다.

4. 실험

실험은 KIMM이 보유한 Wentgate DW6040(60kV)을 이용하여 실험을 하였고, 이온전류 외에 가속전압, 전자빔전류 및 초점전류를 동시에 측정 할 수 있도록 하였다. 그림 3.a(x축의 단위: sec., y축의 값은 shift하여(저항을 사용) 4개의 실험값을 표시)는 두께 22mm의 연강에대한 변수는 $V_{acc}=60kV$, $I_b=487mA$, $V_w=10m/h$ 이다. 전자빔 전류가 점진적으로 증가함에 따라 이온 전류의 세기가 증가함을 보여주고 있다. 그림 3.b(용접중에 sampling)는 전자빔전류를 60mA 부터 75mA로 변화하여 부분 침투에서 완전 침투 할 때에 이온전류의 변화를 보인다. 침투깊이가 깊을 수록 channel의 동적인 변화의 가능성이 높고 이에 대응하는 이온전류의 세기도 크다. 그러나 완전 침투가 되는 시점 부터 이온 전류의 세기는 현저하게 감소하는 것을 알 수가 있다.

5. 결 언

전자빔 용접에서 발생하는 이온전류를 측정하는 장비를 제작하여 기본적인 실험을 수행하였다. 이 실험을 통하여 부분 침투와 완전 침투에서의 이온전류의 크기의 변화를 관찰하였다.

4개의 신호를 측정하여 상호 영향에 미치는 관계를 함수로 유출하여, 시그널 해석 방법을 통하여 channel에서 일어나는 동적인 메카니즘의 해석 및 가장 효과적인 on-line process monitoring 개발에 주력하고 있다.

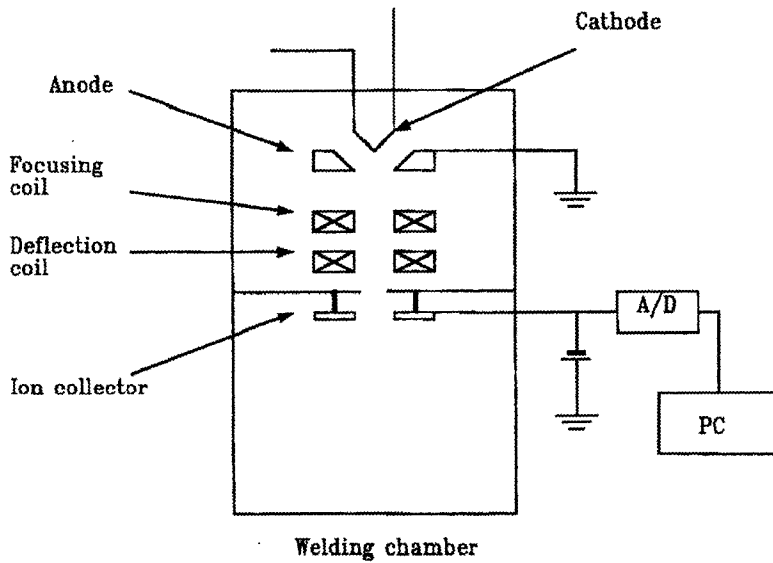
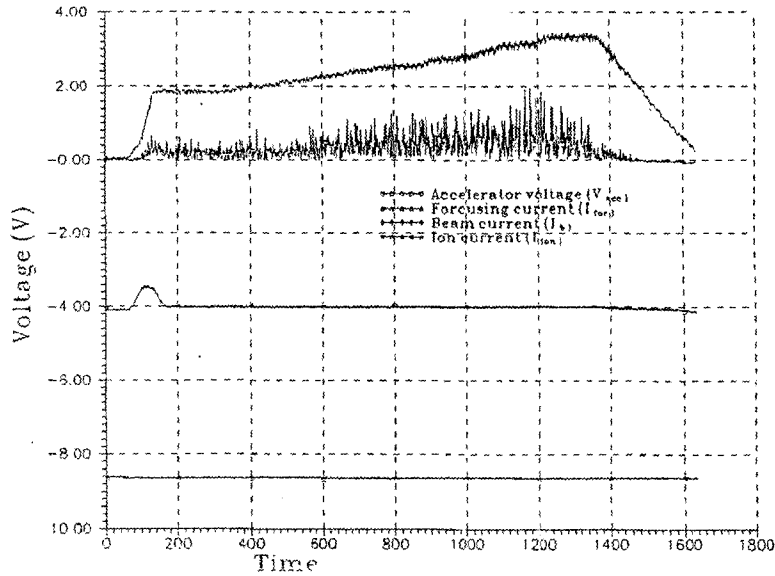


그림 2. a chamber with the ion collector



(a)

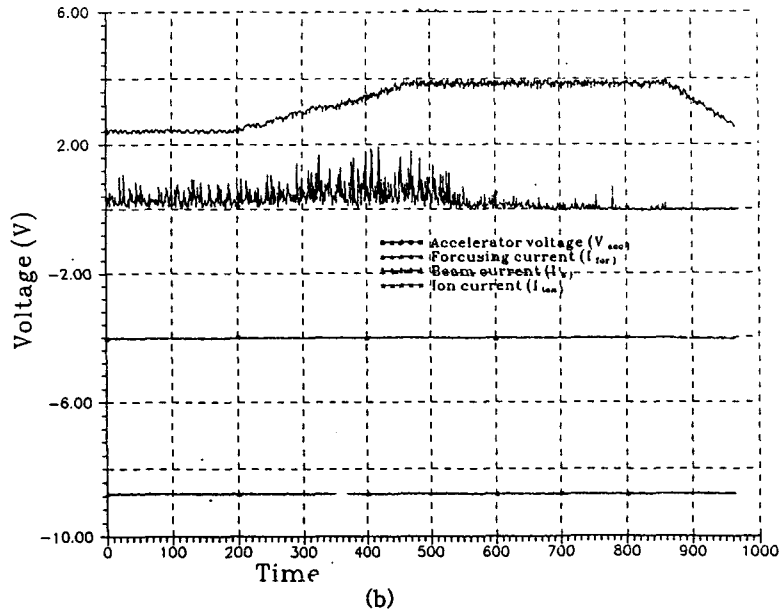


그림 3. the experimental graph

참 고 문 헌

[1] K.S. Akp'yants and A.V. Emchenko-Rybko, "Depth of Penetration and Focusing of the Electron Beam Controlled from the Frequency of Ionic Current Pulsations During Welding", 1981, No. 9, pp. 20-23, Automation Welding.

[2] J. Mesquita, H. Gouveia and M. Pinto, "An Integrated Model for Keyhole and Temperature Calculation in Electron Beam Welding", 1994, pp. 777-787, Second European Conference on Joining Technology.

[3] G.I. Leskov and V.M. Nesterenkov, "Plasma Flows and Thermal and Hydrodynamic Processes in the Vapour Gas Channel in the Electron-Beam Welding of Metals", 1978, No. 6, pp. 20-23, Automation Welding.

[4] V. Lokshin and V. Nesterenkov, "Final Report", 1994, 8, KIMM

[5] V.M. Nesterenkov, "The Effect of Oscillations of the Electron Beam on the Nature and Intensity of Plasma Flows in the Vapour-Dynamic Channel", 1978, No. 8, pp. 39-40, Automation Welding.

[6] G.I. Leskov, V.M. Nesterenkov and L.I. Zhivaga, "Currents of Plasma During the Electron-Beam Welding of Plate Steel Structures", 1980, No. 4, pp. 16-19

[7] K.O. Mauer, "Relationship Between Secondary Electron Current Pulsation Frequency and Current in the Work During Electron Beam Welding and Geometry of the Weld", 1982, No. 3 pp. 47-49, Automation Welding.

[8] V.M. Nesterenkov, "Effects of Geometries of Electron-Beam Welds on Ionic Current Parameters", 1982, No. 3 pp. 28-30, Automation Welding.