

전자빔 용접기의 설계·제작 기술

(Design and Fabrication Technique of Electron Beam Welder)

고 상근, 김 상호, 정 기형
서울대학교 공과대학

I. 서 론

전자빔 용접기는 선진산업기술사회에서는 필수적으로 갖추고 있는 가공장비중의 하나이다. 잘 알려진 전자빔용접의 특징을 보면 높은 에너지밀도를 형성할 수 있고, 고출력을 낼 수 있으며, 모든 변수를 간단하고 정밀하게 제어할 수 있다는 것이다. 이러한 장점을 갖추고 있어 초정밀용접과 두꺼운 판재간의 용접에서 위력을 발휘하고 있다. 특히, 용접시 V자홈의 폭 대 깊이의 비가 아주 키(High Aspect Ratio) 두꺼운 재료도 용이하게 용접할 수 있다.

따라서 이상의 장점들에 의해 용접재의 열변형을 최소화할 수 있으며, 빔출력의 안정성 유지는 물론 고용점금속(Refractory Metal)의 용접, 이종금속간의 용접 등을 정확하고 깨끗하게 처리하여 마감처리를 하지 않아도 되며 용접속도를 빨리할 수 있어 경제성을 높일 수 있다.

한편 전자빔용접기의 단점을 살펴보면 장비가 크고 무거운 용접물을 옮겨야 하는 점과 항상 X-Ray가 다량 방출되므로 방사선차폐를 철저히 해야 한다는 점이다. 또한, 장·단점을 함께 하는 특성으로는 대부분 전자빔용접은 진공 중(10^{-2} Torr 이하)에서 이루어지기 때문에 작업과정이 불편한 점이 있으나, 반면에 용접재료의 순도를 그대로 유지할 수 있어서 산화방지와 오염방지가 자동적으로 이루어지는 장점을 갖는다.

이상과 같은 장점은 박판간의 용접, 후판간의 용접 등을 가능하게 하여 연철에 고속도강을 용접한 쇠톱날을 생산할 수 있고 신축률이 뛰어난 얇은 주름호스(Bellows Hose) 등의 생산은 전자빔용접이 아니고는 불가능한 실정이다. 이 밖에 전자빔을 이용한 공정은 고용점재료의 용해나 박막증착, 정밀주조물생산 등에 다양하게 쓰이고 있다.

본 연구에서는 전자빔용접기를 설계하고 제작하는 과정을 요약하고 제작상의 문제점을 밝히려고 한다.

II. 설 계 와 제 작

장치를 제작하고자 할 때에는 용도를 정확하게 파악하여야 한다. 본 장치에서는 빔직경 및 초점거리 등의 목표값을 주어 빔의 모양을 설계에 반영토록 한다. 또한 빔출력, 빔에너지 및 빔의 이동속도와 폭 등을 알아야 하며 중요한 설계변수로서 작업공간의 기압도 알아야 한다. 용접물의 특성상 정밀한 용접조건을 요할 때에는 장치의 진동을 줄이기 위하여 진동발생원으로부터 진동의 전달을 차단하는 것이 중요하다.

이상과 같이 설계제작에 필요한 변수를 파악한 후 전자빔 발생 음극을 포함하는 전자총(Electron Gun)의 조합, 고전압선의 배치, Solenoid Coil과 Deflection Coil의 배치를 결정하기 위하여 전자빔궤적에 관한 전산코드를 통하여 전산모의실험을 하고 각 부분의

동작조건에 필요한 진공압력을 유지하도록 각 실간의 Vacuum Conductance를 맞추어 차등배기가 되도록 진공펌프를 설치한다.

이상의 과정에서 고려되어야 할 것은 용접물의 종류와 형상이다. 판재간의 용접에서 용접길이 d 와 빔전압 V 는 다음 식에 비례하는데 V 가 클수록 1.3승에 적합하며 작을수록 2승에 적합하다.

$$d \propto V^{1.3-2.0} \quad (1)$$

이는 빔과 물질의 상호 작용시 물질의 전자빔흡수 정도에 기인하는 Coupling Coefficient에 관계되기 때문이다.

전자총의 음극은 설계자에 따라 여러 종류의 물질이 쓰이고 있고 이 물질의 가열 방식 또한 다양하다. 흔히 쓰이는 텅스텐은 일함수(Work Function)가 높은 편이어서 높은 온도로 가열해야 하므로 주변으로의 방사열차단과 음극의 면적이 클 경우 음극면의 균일 가열 등의 문제점을 갖고 있으나, 진공중 고온에서 증기압이 낮고 수명이 길뿐만 아니라 순수한 물질이므로 Activation 등의 과정이 필요없어 전자빔용접기와 같이 음극면적이 작고 작업조건이 나쁜 경우 가장 많이 쓰이는 음극재료이다.

음극으로부터의 방출전자의 전류밀도 J 는 음극의 온도 T 에 대해 다음과 같은 관계를 갖고있다. (Richardson-Dushman equation)

$$J = AT^2 \exp(-\phi/kT) \quad (2)$$

여기서 A 는 비례상수, k 는 Boltzmann 상수이다.

본 연구에서는 국내시장에서 쉽게 구할 수 있고 가공성도 양호한 2% Th함유 텅스텐을 음극재료로 사용하였으며 (2)식과 전산모의실험의 결과에 따라 음극의 면적을 결정하여 1700 °C에서 200 mA를 발생시킬 수 있도록 설계하였다. 결과적으로 제작된 전자총 조합체는 그림 1과 같다. 또 전원부품으로서 고내압 절연변압기가 필요하므로 내절연이 200 kV에 견디는 Epoxy Molding Type의 변압기를 설계, 제작하여 시험한 결과 성능의 양호함을 확인할 수 있었다. 그 외에도 차등압력 진공설계를 마쳤고 빔을 원형, 타원형, 직선 등의 궤적으로 속도를 임의로 제어할 수 있는 광학부품도 설계, 제작하여 시험을 마쳤다. 제작상으로는 정밀가공과, 정확한 조립이 이루어질수록 양질의 빔을 얻을 수 있으며 조립후의 구조적 정확성은 각종 측정장비의 부실로 뒤로 미루고 있다.

III. 결 과

1. 전자빔 용접기를 설계, 제작하여 전압과 전류를 측정된 결과 인출전압 10 - 20 kV DC 에서 100 - 200 mA의 전류를 얻을 수 있었다.
2. 전산모의실험의 결과(그림 2)와 실험치가 잘 일치함을 알 수 있었다.
3. Focusing Solenoid 전자석을 작동시켜 빔의 출력밀도와 초점거리를 임의로 바꿀 수 있었고 장시간 (3시간) 가동에도 이상이 없었다.
4. 전자빔용접장치를 가동하는데 사용한 전원회로와 절연변압기를 각각 그림 3과 그림 4에 나타내었고, 전산모의결과와 비교하기 위한 전자빔발생장치 및 최종적으로 설계된 전자빔 용접기의 개략도를 각각 그림 5와 그림 6에 나타내었다.

5. 이번 시작품은 X-Ray 차폐보강, 외부로부터 오는 동력선의 출력변동을 감소와 기계적 진동방지 등을 보강해야 할 것으로 판명되었다.

IV. 결 론

1. 전자빔용접기 설계, 제작을 완전히 국내기술수준으로 완료하여 서론에서 말한 규격치만 받으면 설계, 제작할 수 있는 역량을 갖추었다.

2. 수천시간 작동할 수 있고 편리성이 충분한 장치제작을 위하여 보다 장시간의 연구개발로 얻을 수 있는 경험축척이 필요하며 사용자 입장에서의 결점을 보강할 수 있는 기간이 있어야겠다고 본다.

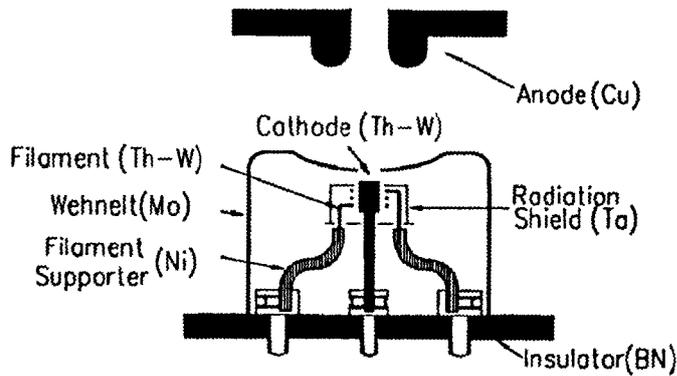


그림 1. 전자총의 구조도

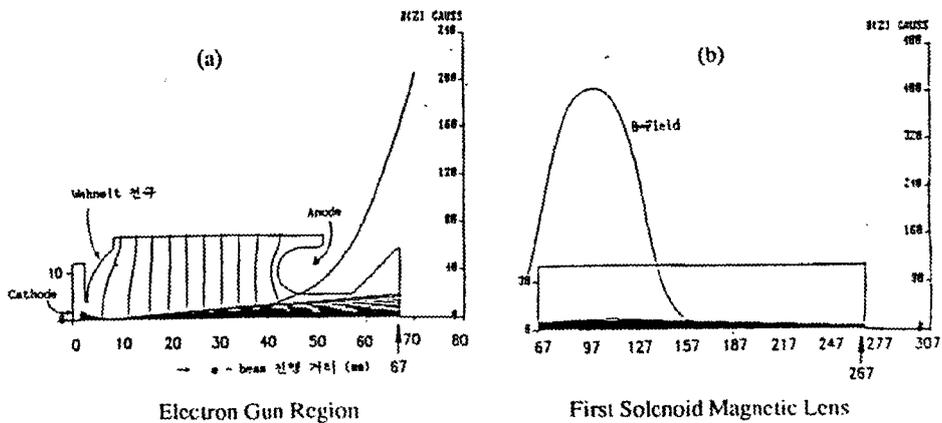


그림 2. 전자빔용접기 전체 시스템에서 전자빔의 궤적(a→c) (계속)

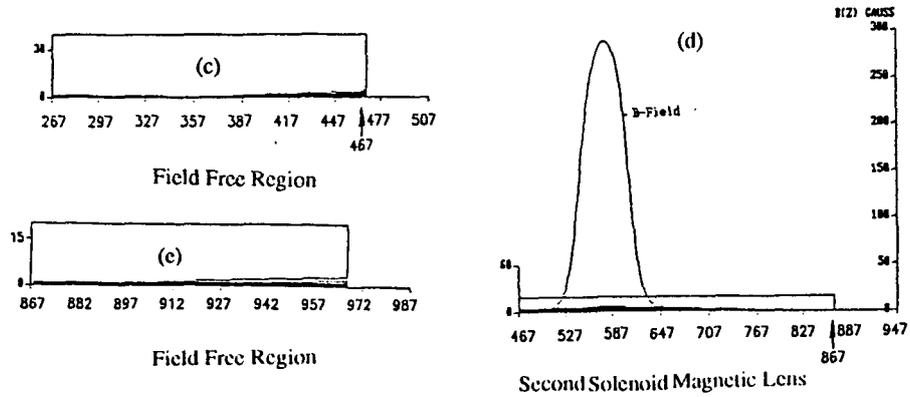


그림 2. 전자빔용집기 전체 시스템에서 전자빔의 궤적(a → c)

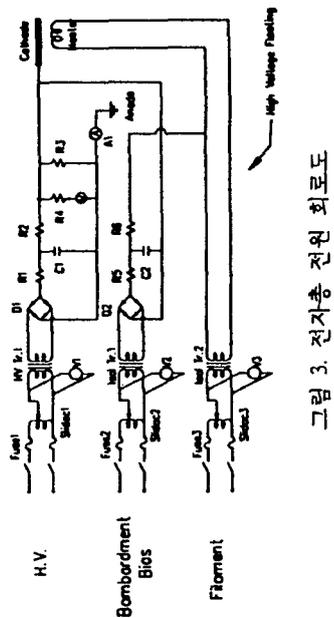


그림 3. 전자총 전원 회로도

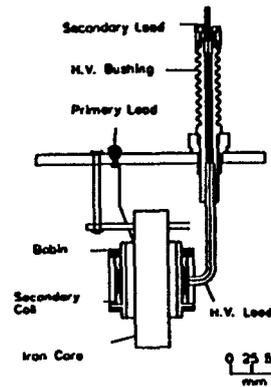


그림 4. 절연변압기의 구조도

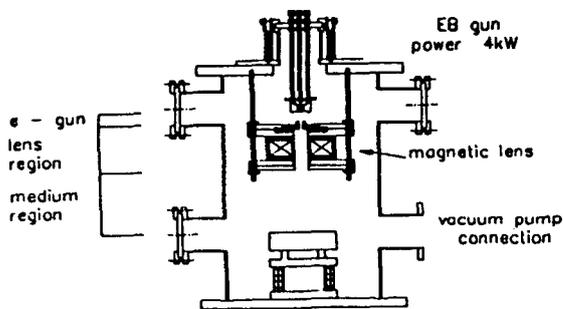


그림 5. 전산결과와 비교하기 위하여 제작한 전자빔 발생장치

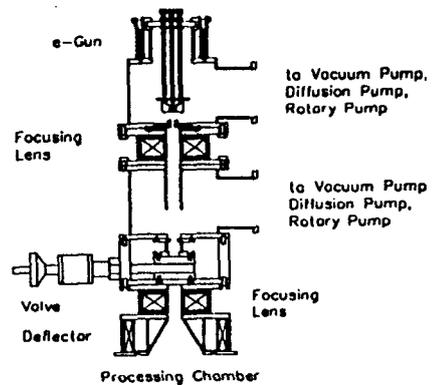


그림 6. 차동 진공시스템의 개략도