

고밀도 전자빔 Finishing 장비의 전자빔 집속 Electron Beam Condensation in Finishing Instrument using High Density Electron Beam

**#임선종¹, 최지연², 강은구³, 이석우⁴

*#S.J. Lim¹(sjlim@kimm.re.kr), J. Y. Choi², E. G. Kang³, S. W. Lee⁴

^{1,2} 한국기계연구원 광응용 기계실, ^{3,4} 한국생산기술연구원 디지털협업지원센터

Key words : High Density Electron Beam Finishing, High Density Electron Beam Lens, Lens Modeling

1. 서론

Finishing 장비는 가공 부품의 표면 조도를 향상시키고 제품의 이물질을 제거하기 위한 마무리 공정을 수행하는 장비이다. 디버링(Deburring), 폴리싱(Polishing) 및 에지 래디어싱(Edge radiusing)의 공정을 포함하여 정밀도가 요구되는 가공물에 적용되고 있다. 특히, 금형 제작에서 Micro crack 을 효과적으로 제작하는 장점이 있다. 본 연구의 대상이 되는 finishing 장비는 inductively coupled 플라즈마를 이용해 대면적의 전자빔을 발생하고, 집속 후 가공물의 표면에 조사하여 가열을 통해 finishing 공정을 수행한다. Fig. 1 은 전자빔을 이용한 금형 부품의 finishing 결과를 보이고 있다.

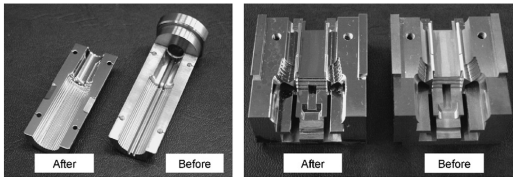


Fig. 1 Finishing results for mold parts using electron beam

본 논문은 개발중인 finishing 장비의 디버링 혹은 에지 래디어싱 공정을 위해 플라즈마 소스에서 발생된 고밀도의 전자빔을 집속하는 방법을 제안하고 있다. 집속 방법은 기하 광학적 모델인 thin lens 조합 이론을 사용하고 있다.

2. 전자빔 집속 시스템의 모델링

전자빔을 집속시키는 전자 렌즈는 정전기 렌즈와 마그네틱 렌즈로 나뉘어 진다. 정전기 렌즈는 렌즈간 전위차를 이용해 전자빔을 굴절시킨다. 전압 조정이 간단하지만 절연을 위한 공간을 많이 차지하게 된다. 마그네틱 렌즈는 코일의 전류를 이용해 전자빔의 굴절률을 조종한다. 외부 노이즈에 강한 앰프 설계 및 안정된 제어 전류를 요구하지만 정전기 렌즈에 비해 상대적으로 적은 공간으로 구현된다. 본 연구의 전자빔 집속 시스템은 설치 공간 등을 고려하여 마그네틱 렌즈를 기반으로 하는 집속 시스템을 선정하였다

집속 시스템은 높은 굴절률을 갖는 집속 렌즈와 집속된 빔을 시편에 투영하는 대물 렌즈로 구성된다. 집속 렌즈는 수차의 영향을 줄이고 연속적인 집속 범위를 갖도록 하기 위해 두 개의 집속 렌즈로 구성하였다. 개발 중인 finishing 장비의 플라즈마 소스에서 발생된 전자빔의 면적은 약 60 mm 이다. 단계별 시스템 개발 사양에 따라 집속 시스템은 0.5 mm 의 프르브 사이즈를 갖는 것을 목표로 한다. 따라서 반배율은 1/120 로 설계하였다. 각 렌즈의 기능적인 특징에 따라 반배율은 집속 렌즈 1, 집속 렌즈 2 및 대물 렌즈에 대해 각각 1/4, 1/15 및 1/2 로 설정하였다. 전자 현미경의 경우 working distance 는 전자빔의 기하학적 경로에서 물체의 위치이다. 그러나 finishing 장비의 경우 working distance 는 전자빔 밀도가 가장 높은 초점 위치가 되도록 설계하였다. 초점 거리는 125 mm 에서 ± 25 mm 의 조종 범위를 갖도록

설계하여 시스템의 요구 사항인 150 mm 의 working distance 를 만족하도록 설계하였다. 전체 집속 시스템의 길이는 기구적인 안정성을 고려하여 설계되었다. Fig. 2 는 설계된 렌즈 모델링을 보이고 있다. Table 1 은 Fig. 2 의 설계 항목들에 대한 설명을 나타내고 있다.

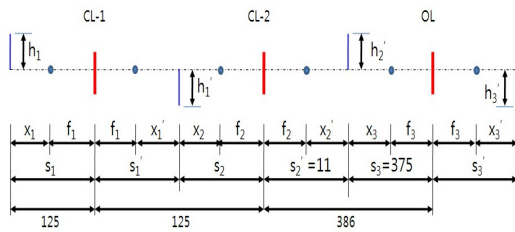


Fig. 2 Modeling for electron beam condensation system

Table 1 Design factors

No	Factor	Description
1	x_1	From beam source to the CL_1's focal length
2	f_1	The CL_1's focal length
3	x_1'	From the CL_1's focal length to the CL_1's image plane
4	x_2	Form the CL_1's image plane to the CL_2's focal length
5	f_2	The CL_2's focal length
6	x_2'	From the CL_2's focal length to the CL_2's image plane
7	x_3	From the CL_2's image plane to the OL's focal length
8	f_3	The OL's focal length
9	x_3'	From the OL's focal length to the OL's image plane

빔 경로를 짧게 하여 수차의 영향을 줄이기 위해 두 번째 집속 렌즈와 대물 렌즈의 거리를 가능한 가깝게 한다. Fig. 2 에서 집속 렌즈의 간격은 125 mm 이며 두 번째 집속 렌즈와 대물 렌즈의 간격은 386 mm 이다. 폴 피스의 간격은 전자빔 경로의 직경을 고려한 설계 규칙을 적용하였다. 폴 피스의 단면 형상은 전자빔 경로에 큰 영향을 미치지

않는다. 렌즈 코일은 4000 ampere•turn 이상이 되도록 설계하였다. 폴 피스 및 렌즈 코일 등을 고려한 집속 시스템의 지름은 325 mm 로 설계되었다.

3. 결론

본 논문은 플라즈마 소스에서 발생된 고밀도의 대면적 전자빔을 이용한 finishing 장비의 개발에서 프роб 사이즈를 0.5 mm 로 하는 집속 시스템을 개발하기 위해 필요한 모델링 과정을 보이고 있다. Thin lens 의 기하 광학 모델링을 이용하는 경우 반배율의 설계 과정에서 간단한 과정을 통해 렌즈의 위치와 크기, 집속 시스템의 기구적인 크기, 렌즈 코일의 권선수 및 제어 전류의 범위에 대해 대략적인 범위를 구할 수 있게 된다. 이 방법은 기구적인 설계 및 제작에 효율적인 방법이다. 본 논문의 모델링에서 수차의 영향은 고려되지 않았다. 수차의 영향은 폴 피스의 가공 및 조립 상태 등에 큰 영향을 받는다. 따라서 수차의 영향을 최소화하는 것은 조립 후 진단 과정에서 분석되고 개선되어야 하므로 본 논문에서는 다루지 않았다. 향후 연구 방향은 고밀도 전자빔의 스캐닝 방안, 반배율 확대 및 수차의 영향 최소화 등이다.

후기

본 연구는 지식경제부가 지원하는 산업원천기술개발사업 “정밀기계부품 가공용 고밀도 전자빔의 고속 청정 Finishing 공정 기술 개발” 과제로 수행되었으며 이에 관계자 여러분께 감사 말씀을 드립니다.

참고문헌

1. Myers, L. M., “Electron optics, theoretical and practical” D. Van nostrand company, pp. 143-245, 1939.
2. Cosslett, V. E., “Electron optics,” Oxford, pp. 77-105, 1950.
3. Klemperer, O., “Electron optics,” Cambridge press, pp. 20-131, 1971.