

증기화 증폭시트를 적용한 전자빔 가공 특성 연구

김성현¹ · 정성택¹ · 김현정¹ · 백승엽[†]

인덕대학교 기계설계공학과^{1,†}

A study on machining characteristics in vaporized amplification sheets of electron beam

Seong Hyun Kim¹ · Sung Taek Jung¹ · Hyun Jeong Kim¹ · Seung Yub Back[†]

Department of Mechanical Design Engineering Induk University^{1,†}

(Received June 22, 2018 / Revised July 24, 2018 / Accepted August 01, 2018)

Abstract: Recently, as machine components and products are getting smaller, it is demanded to develop superprecision production technologies multilaterally. Along with the advancement of production technology, people are paying keener attention to the development of eco-friendly technology and efficient processing technology. Particularly, in many industries related to automobiles, shipbuilding, or airplane components, it is demanded to obtain technology to process multiple micro-holes. On account of this trend, micro-hole processing employing high-power electron beams is rising nowadays, and more interest is being shown in it, too. In Korea, however, the process of manufacturing vaporized amplification sheets influencing high-power electron beam processing technology and the processability considerably has not been developed sufficiently yet. Therefore, this study has applied vaporized amplification sheets manufactured to analyze the processability of high-power electron beams and examine necessity for vaporized amplification sheets.

Key Words: Brass powder, Electron beam, Processability, Vaporized amplification sheets

1. 서 론

최근, 다양한 산업 분야에서 정밀 급을 요구하는 제품과 표면조도를 요구하고 있다. 이는 산업화가 고성장 하게 발전됨에 따라 제품의 성능과 그에 따른 품질이 개선되기 때문에 장비에 대한 성능 또한 증가하게 되고 연구가 지속적으로 진행되고 있다. 특히, 항공기 및 자동차 엔진 부품에 들어가는 부품 군들은 다양하게 존재하고 있으나 이러한 제품을 생산하기 위해서는 홀 가공이 반드시 필요하기 마련이다. 따라서 종래에는 대개 범용가공 및 MCT 가공을 이용하였으나 현재에는 특수가공법을 이용한 방전가공을 이용하여 품질개선을 높이는 연구를

진행되고 있다^{1,2)}.

방전가공의 경우 제품의 상태에 따라 와이어의 적정 조건에 따라 제품의 정밀도를 개선시킬 수 있다. 그러나 가공시간 및 비용적인 측면으로 야기했을 때 문제가 있으므로 많은 연구자들이 비접촉식 가공을 많이 연구하고 있는 실정이다³⁻⁵⁾.

자동차 엔진에 들어가는 부품의 경우 분사 노즐 구인 Injector(인젝터)의 부품이 있다. 본 제품을 가공하기 위해서는 깊은 홀 가공을 정밀한 표면조도에서 가공하는 것을 요구된다. 또한 가공 깊이의 범위가 길기 때문에 가공시간이 오래 걸리는 문제점을 고려했을 때 비접촉식의 가공방법을 이용하여 Energy Beam(에너지 빔)의 침투 깊이가 시료의 표면적에 급속하게 전달할 수 있는 전자빔(Electron Beam)⁶⁻⁹⁾연구와 필연적이다.

전자빔 연구의 경우 Scanning Electron Microscope(전자주사현미경)과 Ion-Beam(이온 빔) 연구를 기초

1. 인덕대학교 기계설계과

† 교신저자: 인덕대학교 기계설계과

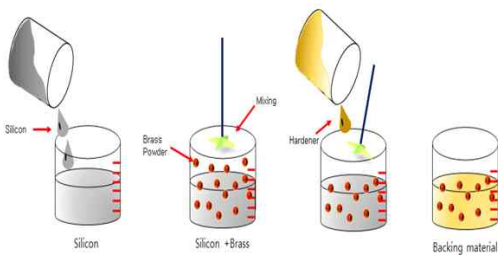
E-mail: sybaek@induk.ac.kr

하여 시작되었으며, 이를 바탕으로 Electron-Beam Welding(전자빔 용접) 연구가 대두되었다. 이를 바탕으로 소재와 소재간의 접합 연구와 다양한 시료를 이용한 용접에 관련된 연구가 지속적으로 연구되어왔다. 본 논문에서는 앞서 전자빔 연구의 적용 사례와 기초 연구의 내용을 바탕으로 Electron-Beam Drilling(전자빔 드릴) 가공을 위한 연구를 진행하고자 한다. 아직 국내에는 전자빔 기술이 전무한 상황이기 때문에 시장성 확보 및 연구적인 난이도 또한 초고난도 과제라 볼 수 있다. 초당 천개 이상의 홀 가공이 실현 된다면 제품의 양산측면에서 큰 기대효과를 볼 수 있다. 따라서 본 연구의 목적은 원천 기술개발에 앞서 전자빔을 집속 투과 시 일반적인 금속을 가공 할 수 없으므로 가공성을 극대화 시킬 수 있는 Vapor Amplification Sheet(증기화 증폭 시트)를 개발함으로써 증기압력과 폭발 압력으로 인해 금속 소재를 가공하기 위한 연구를 수행하였고 그에 따른 가공 분석을 진행하였다.

2. 증기화 증폭시트 제조 및 가공메커니즘

2.1. 증기화 증폭시트 제조

증기화 증폭 시트 제조시 주재, 경화제 및 Metal powder계량을 통해 비율을 조성하고 효율적인 교반수행을 통해 Metal powder가 고르게 분포되도록 진행하였다. 또한, 교반으로 제조된 증기화 증폭 시트의 가공면적 및 균일한 가공품질과 기공 최소화를 위해 탈포를 진행하였다. 마지막으로 증기화 증폭 시트를 도포하기 전 이물질 제거를 위해 시료 세척 후 지그에 고정시킨 후 도포하여 균일한 물질을 유지할 수 있도록 경화를 시키므로써 증기화 증폭 시트를 구현한 것을 Fig. 1에서 보여주고 있다.



(a) Manufacturing of vaporized amplification sheets



Fig. 1 The process of manufacturing vaporized amplification sheets

2.2. 전자빔 가공 메커니즘

소재는 실리콘과 메탈파우더로 구성되어 있으며 전자빔의 집속한계를 극복하기 위해 기화압력을 순간적으로 상승시켜 고품질 미세 홀 구현에 결정적으로 기인한다. 그러나, 증기화 증폭 시트가 없을 경우 기화압력이 부족하여 용융물이 홀 내부로 유입되거나 외부로 배출되어 미세 홀의 품질을 저하시킨다⁶. 가공 메커니즘은 Fig. 2과 같으며, 세부적인 설명은 다음과 같다. 첫 번째로, 전자빔을 통해 집속된 빔이 공작물에 조사되어 운동에너지가 열에너지로 변환되면서 국부적인 용융이 시작된다. 두 번째로 공작물이 용융되면서 가공영역에 증기화가 발생한다. 세 번째로, 공작물이 용융되고 전자빔이 후면소재에 도달하면서 순간적으로 기화압력이 상승한다. 마지막으로, 높은 기화압력으로 인해 녹은 소재들이 홀 외부로 방출되면서 미세 홀이 완성된다.

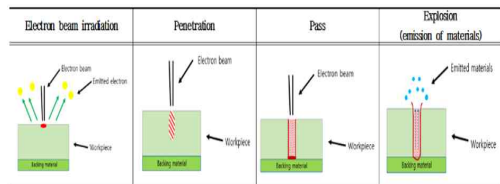


Fig. 2 Schematic illustration of manufacturing mechanism for manufacturing the micro hole by using an electron beam with pulsed beam

3. 전자빔 가공 실험

3.1. 전자빔 가공 장비

전자빔 가공을 위한 장비의 주요 파트를 Fig. 3과 가공조건을 Table 1에서 보여주고 있으며, 전자빔 소스 조건은 전압 30kV, 전류 25mA이다.



Fig. 3 Setting up devices for electron beam processing

Table 1 Experiment conditions

Voltage	30kV
Current	25mA
Workpiece	STS 304(t : 0.5mm), Invar(t : 0.1mm)

3.2. 증기화 증폭 시트에 따른 전자빔 가공

전자빔 가공 메커니즘을 보면 증기화 증폭 시트가 매우 중요한 역할을 하며 제조 상태에 따라 미세 홀의 품질이 결정되며, 증기화 증폭 시트가 없는 경우 가공된 소재들이 녹아내리는 현상을 예상할 수 있다. 이에 따라, 증기화 증폭 시트의 폭발식 가공 기술에 적용하여 미세 홀을 가공할 수 있으며, 고출력 전자빔의 높은 열에너지로 인해 국부적으로 가공이 되면서 증기화 증폭 시트의 가공영역에 높은 증기압력이 축적되며, 이러한 증기압력이 임계온도를 지나면서 내부에 제거되지 않았던 소재들이 폭

발반응(소재의 방출)을 일으키면서 미세 홀 형상에 영향을 줄 것이라 판단되어 STS304, INVAR의 가공을 선행 실험을 진행하였다.



Fig. 4 Vaporized amplification sheets including silicon only

실험은 제작된 증기화 증폭 시트 실리콘 1종, Brass을 섞은 실리콘 1종으로과 얇은 소재인 INVAR를 가지고 미세 홀 가공 유무를 판단하기 위해 진행하고, 가공성을 분석하였다. Fig. 4는 순수 실리콘인 증기화 증폭 시트를 제조하여 실험한 결과를 보여주고 있으며, 미세 홀이 정상적으로 가공되지 않고 증기화 증폭 시트에 그을린 것을 확인하였다. 이는 순수 실리콘의 낮은 열전도율로 인해 폭발(방출)이 발생할 만큼의 증기압력이 축적되지 않은 것으로 판단된다.



Fig. 5 Vaporized amplification sheets including silicon and Brass

Fig. 5는 Brass을 섞은 증기화 증폭 시트를 사용하였으며, 그 결과 미세 홀이 정상적으로 가공되고 실험

리콘 표면에 Brass particle이 증기압력 축적에 기인하여 증기화 증폭 시트의 다음과 같은 역할을 확인하였다. 1단계(Electron beam irradiation), 2단계(Penetration), 3단계(Pass), 4단계(Explosion) 증기화 증폭 시트의 높은 증기압력 때문에 폭발(방출)되어 한번 더 가공이 된 후 홀이 완성된다.

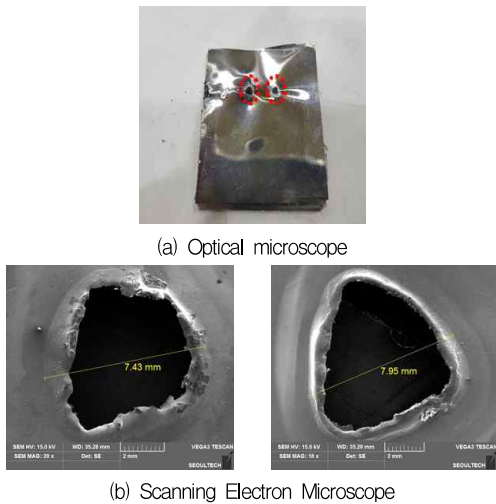


Fig. 6 The invar not applying vaporized amplification sheets

증기화 증폭 시트를 적용하지 않았을 때 미세 홀 가공 유무를 판단하기 위해, 0.1t의 INVAR 소재를 가공한 결과 증기화 증폭 시트 없이도 홀 가공이 된 것을 Fig. 6에서 볼 수 있다. 여기서, 증기화 증폭 시트가 없는 INVAR 시료를 보면 고온 현상으로 인해 휨이 발생하고 홀 형상이 다소 차이가 있는 것을 알 수 있다. 이는 가열이 계속되면서 높은 증기압이 용융된 금속을 바깥쪽으로 밀어내는 효과가 있어야 하는데, INVAR 뒷면에는 증기화 증폭 시트가 없기 때문에 용융되어 홀이 생성된 것으로 사료되며 증기화 증폭 시트의 필요성을 확인 할 수 있었다.

4. 결론 및 토의

본 연구에서는 전자빔 가공 시 적절한 기화 압을 생성하는 증기화 증폭 시트 제조 후 그에 따른 가공 특성을 분석하였다. 구멍 모양과 전자빔 가공성을 확인하기 위해 증기화 증폭 시트에 Brass 유무에 따른 가공성과 증기화 증폭 시트가 없을 때에 대한 가공성을 확인 할 수 있었다. 홀 가공 개선 효과는 실

험을 통해 검증되며, 이 개선이 증착 증대 시트 생성 및 전자 빔 가공 특성에 미치는 영향이 결정됩니다. 주요 실험 결과는 다음과 같이 요약됩니다.

1) 소포 공정은 기화 증폭 시트의 제조 과정에서 발생된 기포를 제거하기 위한 목적으로 수행된다. 시트에 기포가 남아 있으면 전자 빔 처리 중에 발생하는 높은 열 에너지로 인한 국부적인 공정으로 인한 높은 증기 압력으로 인해 불규칙한 기화 및 방출(폭발)이 발생할 수 있다.

2) Brass 및 증기화 증폭 시트가 없을 때는 전자빔 가공 동안, 가속된 고 에너지 전자가 가공물에 도달 할 때, 이들 전자의 운동 에너지는 열에너지로 변환되어 금속을 녹인다. 시트에 Brass가 포함되어 있으면 전자빔 가공 중에 열에너지가 흡수되어 증기 압력이 증가하고 가공 품질 및 가공성이 향상된다.

향후에는 미세 홀의 가공품질 및 가공속도의 향상을 위해 증기화 증폭 시트의 위해 금속 분말 선택, 소포 공정 및 열 특성 분석을 통해 기화 증폭 시트를 제조하는 방법과 구성 성분에 따른 가공실험을 수행하여 최적 공정을 확립하려한다.

후기

본 연구는 산업통상자원부 산업기술혁신사업의 산업핵심기술개발사업(No.10063367)의 지원을 받아 수행하였습니다.

참고문헌

- 1) Masuzawa T, Fujino M, Kobayashi K., "Wire electro-discharge grinding for micro-machining", CIRP Annals, Vol. 34, No. 1, pp. 431-434, 1985.
- 2) Snoeys R, Staelens F, Dekeyser W., "Current trends in non-conventional material removal processes", CIRP Annals, Vol. 35, No. 2, pp. 467-480, 1986.
- 3) Ravi Nachiappan, Huang Han., "Fabrication of symmetrical section microfeatures using the electro-discharge machining block electrode method", Journal of Micromechanics and Microengineering, Vol. 12, No. 6, pp. 905-910, 2002.
- 4) Newman S.T, Ho K.H., "The state of the art-electrical discharge machining", International

- Journal of Machine Tools and Manufacture, Vol. 43, No. 13, pp. 1287-1300, 2003.
- 5) Bhattacharyya B, Munda J, Malapati M, "Advancement in electrochemical micro-machining", International Journal of Machine Tools and Manufacture, Vol. 44, No. 15, pp. 1577-1589, 2004.
 - 6) Picard Y.N, Adams D.P, Vasile M.J, Ritchey M.B., "Focused ion beam-shaped microtools for ultra-precision machining of cylindrical components", Precision Engineering, Vol. 27, No. 1, pp. 59-69, 2004.
 - 7) Tseng Ampere A, "Topical review: recent development in micromilling using focused ion beam technology", Journal of Micromechanics and Microengineering, Vol. 14, No. 4, pp. R15-R34, 2004.
 - 8) Brown G, Nichols K.G., "A review of use of electron beam machines for thermal milling", Journal of Materials Science, Vol. 1, No. 1, pp. 96-111, 1966.
 - 9) Arigoni N., "Femtosecond laser: curved out a niche in micromachining", Photonics Spectra, Vol. 38 pp. 73-80, 2004.