

금속 3D 프린팅 소재와 폴리머 레이저접합에 관한 연구

예강현* · 김성욱** · 박거동*** · 최해운*,†

*계명대학교 기계공학과

**포항산업과학연구원

***이오테크닉스

A Study on Laser Welding for 3D Printed Metal Plate and Polymer

Kang-Hyun Ye*, Sung-Wook Kim**, Geo-Dong Park*** and Hae-Woon Choi*,†

*Dept of Mechanical and Automotive Engineering, Keimyung Univ., Daegu 42601, Korea

**Materials Solution Research Group, RIST, Pohang 37673, Korea

***EO Technics, Anyang 13930, Korea

†Corresponding author : hwchoi@kmu.ac.kr

(Received July 8, 2016 ; Revised July 22, 2016 ; Accepted August 2, 2016)

Abstract

A 3D printed metal part and thermal plastic polymer part were joined by direct laser irradiation. The 3D metal part was fabricated by using DED(Direct Energy Deposition) with STS316 material. The experiment was carried out through no patterned metal surface, 3D metal printed surface and micro laser patterned surface. The most secure joining quality was obtained at the laser micro patterned surface specimen and the counterparts of polymers were PLA and PE based thermo plastics. The applied laser power was 350Watt and the distance of patterns was maintained at 150 μ m. The laser line width was optimized at 450 μ m and the laser micro pattern depth was 180 μ m for the best joining quality. Based on the result analysis, the possibility of laser material joining for metal to polymer was proposed and multi-material joining will be possible in 3D laser direct material fabrication.

Key Words : Laser, Patterning, Design, DED(Direct Energy Deposition)

1. 서 론

3D 프린터가 널리 보급이 됨에 따라, 생산공정이 Top down 방식에서 Bottom Up 방식으로 혁신적으로 바뀌게 되고, 3D CAD 설계 이후 단시간에 프로토타입 및 양산 시제품을 시현할 수 있게 됨으로 개발시간의 획기적인 단축을 이루게 되었다. 이러한 결과로 다양한 소비자의 요구를 반영할 수 있게 될 뿐만 아니라 다품종 소량생산의 요구에도 능동적으로 대처할 수 있게 되었다^{1,2)}.

이러한 3D 프린팅의 장점에도 불구하고, 여전히 컨테츠 제작에 대한 일반인들의 접근성이 어려울 뿐만 아니라 3D 프린팅 방식의 한계로 인해서 소재가 녹는점

이 상대적으로 낮은 폴리머 소재로 제한이 되는 것이 대중화와 더불어 실용화의 걸림돌이 되고 있다. 강성을 요구하는 산업분야 응용의 경우 이러한 소재선택의 한계는 치명적인 약점이 될 뿐만 아니라, 실용화진출의 제한 요소가 되고 있다^{3,4)}.

이러한 한계성 극복을 위해서 금속소재에 대한 연구도 꾸준히 진행이 되어왔고, 일부의 경우 양산시험편 제작이나 제한된 분야에서 양산화가 진행이 되고 있다.

금속 3D 프린팅은 크게 두 가지 방식으로 나뉘는데, 첫째는 PBF(Power Bed Fusion) 공법으로서 모재 분말층 상부에 레이저 또는 전자빔과 같은 고에너지를 조사하여 용융결합을 시켜 형상을 만드는 방식과 둘째로 DED(Direct Energy Deposition)공법으로 금속 분말과 같은 재료를 송급하면서 레이저와 같은 고에너

지를 조사하여 동시에 용융 적층하는 방식이다. 각각의 방식에 따라서 장단점이 있지만, DED공법이 현재로서는 PBF 공법보다 강성이 우수하고 대형부품적용에 유리한 점이 많아서 활발한 연구와 응용이 진행되고 있다³⁻⁶⁾.

금속 3D 프린터의 기술이 안정화 되고 폴리머 소재 3D 프린터가 활성화 되면서, 복합소재에 대한 산업계 대응도 가능하게 되었다. 본 논문은 복합소재를 이용한 제품 생산을 위한 기초연구로서, 금속 3D 프린팅 기술로 완성된 제품과 3D 폴리머 소재를 레이저로 이중 접합한 연구결과를 보고 한다.

2. 사용 재료 및 실험 방법

본 연구에서 사용된 금속 3D프린터 소재는 주로 보일러용 파이프, 해양구조물용으로 사용되는 소재인 STS316L 이며, 다양한 폴리머재료를 상대재료로 사용하여서 제작하였다.

Fig. 1은 본 실험에 사용된 금속분말의 형상을 보여주고 있으며, TLS사의 316L 소재를 적용하였다. 분말의 형상은 구형이며, 입도는 70~156 μm 의 분포를 가지고 있는 것으로 파악되었다. DED용 금속분말은 입도분포가 균일하여야 하며, 용융 후 우수한 유동성과 더불어 산화 및 오염으로부터 화학적 안정성이 커야 한다.

이러한 조건을 만족시키는 금속분말을 사용하여 DED 공정(공정조건: 레이저출력 700W, 분말송급량 4g/min, 보호가스 유량 4L/min)으로 S45C 금속 시편위에 Fig. 2(a)와 같이 1mm 높이로 적층하였으며 시편을 접합

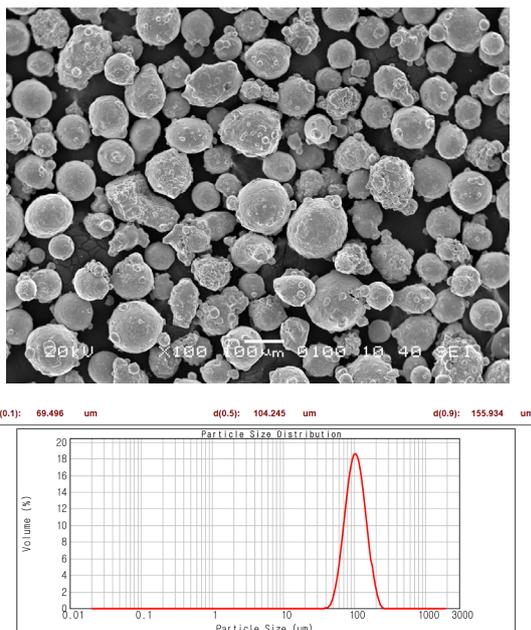


Fig. 1 SEM morphology and size distribution of metal powder

하기에 적합하도록 길이 50mm, 폭 15mm, 두께 3mm로 가공하였다.

또한, 실험에 사용된 폴리머 소재는 열가소성소재로서 Fig. 2 (b),(c) 예시된 바와 같이 내열성 및 내구성이 좋고 가공이 쉬운 장점으로 다양한 제품군에 활용이 되는 PE(폴리에틸렌) 소재와 FDM 방식의 3D프린트 소재로 사용되며 친환경 소재로 사용이 되는 PLA소재를 사용한다. PE의 녹는점은 대략 120 $^{\circ}\text{C}$ 이며, PLA 소재의 녹는점은 150~160 $^{\circ}\text{C}$ 인 소재를 사용하였다. 폴리머 소재 또한 금속소재와 동일하게 길이 50mm, 폭 15mm, 두께 3mm로 가공하였다.

레이저접합 실험에 사용되는 장비로는 Fig. 3(a) 과 같이 최대출력 500W, 파장 915nm, 코어 사이즈가 200 μm 인 CW 모드의 다이오드 레이저를 이용하였다. 시편은 가압할 수 있도록 Fig. 3(b) 와 같은 가압지그 장치를 활용하여 목표로 하는 가압력에 맞추어 준 다음 레이저 열원을 조사하였다. 초점의 크기는 폴리머 소재에 에너지가 분산 집중 되도록 3mm로 설정하였다.

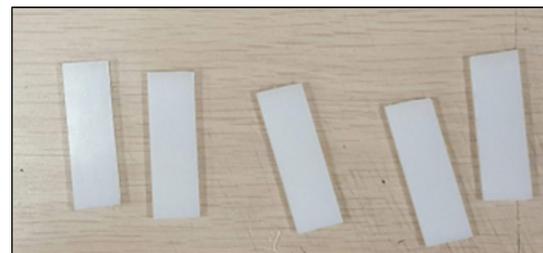
또한, 용융점 차이가 큰 이종재료를 동시에 용착하는 것이 어려워, 금속소재 표면에 요철을 주어서 접합을



(a) Metal specimen

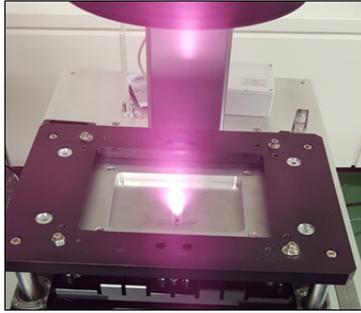


(b) PLA specimen

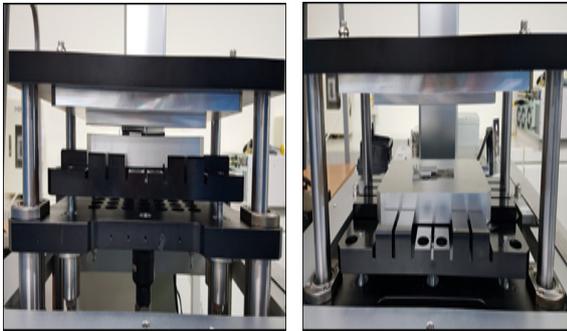


(c) PE specimen

Fig. 2 Specimen (a) metal 3D print (STS316L) (b) 3D printed (PLA) (c) PE(polyethylene)



(a) Diode Laser (LD500)



(b) Welding JIG

Fig. 3 Experiment setup



Fig. 4 Laser scanner & marking

시도 하였다. 일반 금속소재의 경우는 신뢰성 높은 용접에 필요한 매크로 크기의 요철이 없어 별도의 요철을 생성시켜야 한다. 생성된 요철은 상대 폴리머 소재가 요철사이로 스며들어 앵커를 만들어 갈고리 형태로 결합되는 구조이다.

다만, 금속 3D 프린팅 후 적층 후 발생하는 파우더 특유의 미세패턴이 있어서 별도의 요철을 생성하지 않

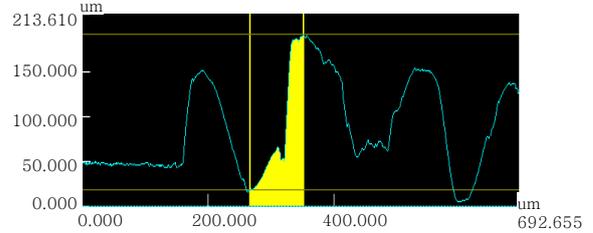
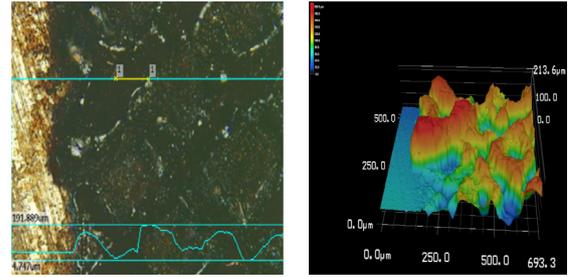


Fig. 5 Roughness measurement

고 접합을 시도하였다. 이러한 요철 생성을 위해서 Fig. 4와 같은 파장 1064nm와 최대출력 50W의 Pulse 타입의 레이저를 이용하여 패터닝을 하였다.

요철의 크기는 Fig. 5과 같이 패턴 간격을 150 μ m, Line width 450 μ m 하였으며 깊이는 대략 180 μ m 로 생성을 하였다.

3. 결 과

실험은 ①요철이 없는 금속소재, ②금속 3D 프린팅 된 소재 그리고 ③마이크로 패터닝 된 소재를 사용하여 진행하였다. 레이저 패터닝을 만들지 않은 상태에서 금속 3D 프린트된 STS316L 소재의 요철을 이용하여 대상소재인 PE, PLA를 접합 해보았다. 실험은 금속 3D 프린트 소재를 하부에 두고 상부에 폴리머 소재를 둔 후 금속 3D 프린트 소재 표면에 레이저를 조사하여 진행 하였으며, 실험의 변수로는 레이저 출력, 지그 가압력, 레이저 Pass 횟수를 두고 진행을 하였다.

요철이 전혀 없는 금속소재는 표면이 지나치게 매끄러워서 접합이 전혀 일어나지 않았다. 또한 소입된 에너지의 대부분이 금속을 가열한 후 금속시편 후면으로 방출됨으로서 폴리머와의 접합이 전혀 이루어지지 않았다.

두 번째 실험으로서 금속 3D프린팅 된 소재를 사용하여서 접합을 시도하였다. 금속 3D 프린팅 이후 자연스럽게 생성된 요철을 이용해서 폴리머와의 접합을 진행하였으며, 결과가 Table 1에 정리되었다.

Table 1의 결과에서 나타나듯이 레이저 패터닝을 이용하여 요철을 만들지 않았을 경우, 금속소재를 통해서 집속된 열이 모두 유출되어서 모든 조건에서 접합이 되지 않았다. 특히, 200W의 경우 접합이 전혀 되지 않았으

Table 1 Experiment results without patterns

Power	Joining pressure	Scanning pass	Results
200W	0.35Mpa	6	X
300W	0.35Mpa	6	X
350W	0.35Mpa	6	X

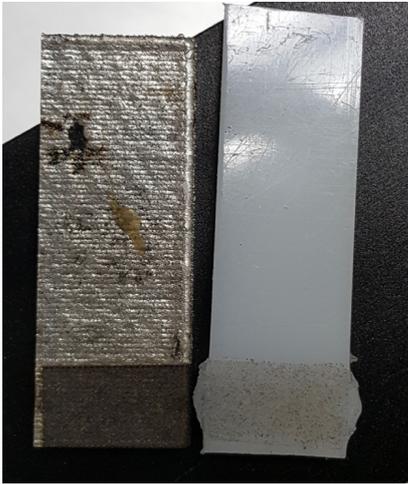


Fig. 6 Tensile test results of no-patterning

며, 300W의 경우 폴리머 소재가 약간 가열었지만 접합이 되지 않고 쉽게 분리되는 경향이 있었다. 350W 이상의 고출력의 경우에서부터 일부 접합이 가능했으나, 금속 3D 프린트 소재를 통한 열방출이 많아서 신뢰도 높은 접합결과를 얻기가 어려웠으며, 가압력은 장비가 가할 수 있는 최대의 가압력을 주었고, Pass 횟수는 출력에 따른 결과를 알아보기 위해 고정해 두어 실험을 진행하였다. (Fig. 6).

금속 3D프린팅 된 이후의 요철만으로는 신뢰성 있는 접합결과를 얻기가 어려워서, 금속 3D프린팅 소재 표면에 고출력 펄스레이저를 사용하여 패터닝을 하였으며, 접합은 350W 출력을 기준으로 더 높일 경우 열에 의한 변형이 있어 350W를 기준으로 두고 가압력과 Pass 횟수를 변수로 두었다. (Fig. 7).

Table 2에서 정리된 바와 같이 고출력 펄스 레이저를 사용하여 생성된 패턴은 신뢰도 높은 접합결과를 보여 주었다. 상대적으로 고출력이 적용이 된 것은 금속 3D프린팅 된 시편의 열손실이 많이 발생되었고, 고속으로 스캔하는 방식에서의 효율감소가 그 원인으로 판단된다.

전반적으로 접합품질은 우수하나, Scanning pass 횟수를 증가시켜 과용접이 된 상황에서는 불순물 탄화 현상이 발생해 폴리머 소재가 부스러져 버리거나 파손되는 현상도 일부 발견이 되었다.(Fig. 8).



Fig. 7 Specimen of 3D printed metal plate with micro patterns on surface

Table 2 Experiment results with patterns

Material	Power	Joining Pressure	Scanning Pass	Results
PE	350W	0.3Mpa	6	O
PE	350W	0.3Mpa	7	O
PLA	350W	0.2Mpa	6	X
PLA	350W	0.2Mpa	5	O
PLA	350W	0.2Mpa	5	O

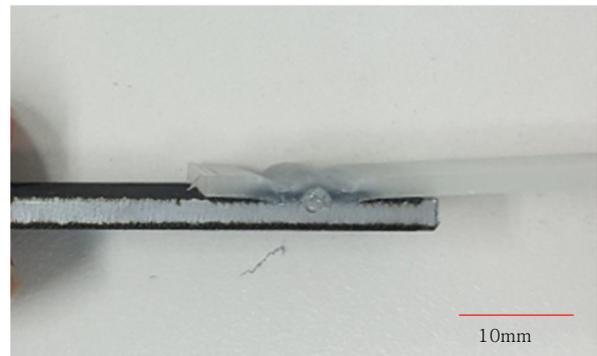


Fig. 8 Cross section of 3D metal printed parts to polymer joining

4. 결 론

본 논문에서는 금속 3D 프린팅 소재와 폴리머 소재의 레이저 접합 실험결과를 보고하였다. 특히, 표면의 요철정도에 따른 접합특성을 알아보았으며, 무패턴, 금속 3D 프린팅 소재 표면 그리고 마이크로 패턴에 대한 접합특성을 비교하였다. 실험의 결과 표면이 매끄러운 소재는 금속과 폴리머의 계면의 융착이 잘 이루어지지 않았으며, 신뢰도 높은 접합이 어려웠다. 또한, 금속 3D

프린팅 표면의 경우에도 일부의 요철로 인하여 상대적인 접합신뢰도 우수성이 있었으나, 용융된 폴리머의 침습이 어려움이 발생되었다. 마지막으로, 표면에 레이저 마이크로 패턴을 적용한 결과 금속 표면에 앵커링이 되면서 소재가 효율적인 기계적 접합이 가능함을 볼 수 있었다.

연구의 결과 폴리머 융착성이 좋게 하기 위해서 마이크로 패턴을 금속 3D 프린팅 표면에 적용하면, 신뢰도 높은 이종재료 접합이 이루어 질 수 있을 것으로 기대가 된다. 향후, 금속 3D 프린팅 기술이 조금 더 발달하여 외부적인 레이저 패턴이 필요 없이 프린팅 기술로써 일정 수준 이상의 앵커를 생성 할 수 있는 단계가 온다면 이종재료 접합이 조금 더 쉬울 것으로 판단된다.

후 기

본 연구는 한국연구재단 기본 연구지원사업(2015-0645)의 지원으로 수행 되었습니다.

References

1. Lee J.E., Im Y. E., Park K., Finite Element Analysis of a Customized Eyeglass Frame Fabricated by 3D Printing, *Transactions of the Korean Society of Mechanical Engineers - A*, 40(1) (2016), 65-71
2. Ham W.S., Lee S.Y., Lee S.C., Kim J.D., Lee S.H, A Study of Metal 3D Printing Applied for Mould/Tooling Practices and Effects, *KSMTE Spring meeting proceedings*, (2014), 37-37
3. Kim W.S., Hong M.P., Kim Y.G., Suh C.H., Lee J.W., Lee S.H., Sung J.H., Effects and Application Cases of Injection Molds by using DED type Additive Manufacturing Process, *J. of Welding and Joining*, 32(4) (2014) 10-14 (in Korean)
5. Kam D.H., Kim Y.M., Kim C.H., Recent Studies of Laser Metal 3D Deposition with Wire Feeding, *J. of Welding and Joining*, 34(1) (2016), 35-40 (in Korean)
6. Lee S.J., KatayamaS., Kim J.D., Weldability of SUS304 and Ti Dissimilar Welds with Various Welding Speed using Single Mode Fiber Laser, *Journal of KWJS*. 31(5) (2013), 64-70 (in Korean)