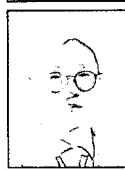


레이저를 이용한 금속 시제품의 쾌속조형 기술현황

송 용 악

State of the Art in Laser-Assisted Rapid Prototyping of Metallic Parts

Yong-Ak Song



송용악/한국과학기술연
구원 CAD/CAM연구센
터/1968년생/Rapid
Prototyping and
Tooling

1. 서 론

현재 산업체에서 동시공학적 제품 개발 도구로써 각광을 받고 있는 쾌속 조형기술은 이미 제품 개발에서 없어서는 안 될 중요한 기술로서 인식 되어 가고 있다. 설계 시 신속하게 시제품을 제작하여 제품 품질 개선에 큰 공헌을 하고 있는 쾌속 조형기술은 이제 단순히 시제품 제작뿐만 아니라 기능성 시제품과 시작 금형제작에도 응용이 되고 가고 있는 추세이다¹⁾. 이와 같은 추세에 따라 쾌속조형기술에 사용되고 있는 소재도 종이나 플라스틱 뿐만 아니라 금속까지 확대되어가고 있다. 하지만 금속은 종이나 플라스틱보다 훨씬 더 높은 용융점을 가지고 있기 때문에 공정 개발상 많은 어려움이 뒤따른다.

금속 시제품을 제작하기 위하여 현재 전 세계적으로 여러 가지 방법들이 시도되고 있다. 이들을 크게 두 가지 방법으로 분류하면 그림 1에 나타난 바와 같이 금속 분말이나 와이어 상태의 소재를 용융하여 적층하는 공정과 금속 판재를 적층하는 공정으로 구분할 수 있다.

분말이나 와이어를 용융 시킬 경우 단면을 제작하는 시간이 오래 걸리나 단면과 단면을 접합하기 쉬운 이점이 있다. 반면에 금속 판재를 사용하면 각 단면의 제작 시간은 많이 소모되지 않으나 단면과 단면을 접합할 때 문제가 발생한다. 이 두 가지 방법은 다시 직접

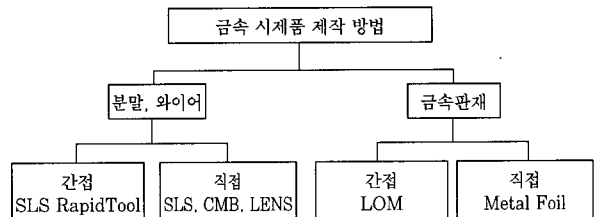


Fig. 1 금속 시제품 쾌속 조형 공정의 분류

식 방법과 간접식 방법으로 구분할 수 있다. 직접식 방법에서는 금속 소재를 직접 용융 시키는 반면 간접식 방법에서는 바인더를 사용하여 일단 형상을 제작한 후로에서 후처리 작업을 통해 최종 강도를 얻는다. 본 논문에서는 여러 가지 알려진 금속 시제품 방법 중 그림 1에 나타난 쾌속조형 공정들의 기술현황을 조사하고 이들의 문제점과 해결방안을 제시하고자 한다.

2. 금속 분말과 와이어를 사용하는 쾌속조형 공정

1986년 미국 텍사스 오스틴 대학원생 Carl Deckard에 의해 개발되어 현재 미국 DTM사에 의해 상용화된 SLS(Selective Laser Sintering)방법은 CO₂ 레이저를 사용하여 부분적으로 분말을 소결 또는 용융하여 시제품을 제작하는 쾌속조형 기술이다.

사용되는 레이저의 출력은 50W이고 사용 소재로는 나일론 종류의 플라스틱과 금속 및 구조용 모래가 있

다. 소재의 특성상 나이론 분말은 용융 시 낮은 표면 장력으로 쉽게 비드가 생성되고 단면이 만들어지지만 금속의 경우 표면 장력이 높아 용융된 후 구 형태로 응고되기 때문에 비드 생성이 상대적으로 어렵다. 이를 해결하고자 DTM사에서 상용화한 RapidTool방법에서는 45 μm 크기의 스테인레스 금속분말을 직접 용융하지 않고 플라스틱 바인더와 혼합하여 먼저 레이저로 바인더만을 녹여 green 파트를 생성한다²⁾. 그 후 강도를 향상시키기 위하여 바인더를 로에서 제거한 후 청동을 침투하여 소결하는 방법을 사용한다. 이렇게 제작된 파트는 P-20금속에 유사한 강도를 가지고 있다. 하지만 로에서 후처리시 형상이 뒤틀리거나 수축으로 인하여 정밀도가 떨어지는 단점이 있어 현재 정밀한 금형 제작용으로 사용하기 어렵고 정밀도가 많이 요구되지 않는 금형 인서트 제작용으로 사용되고 있다 (그림2). 현재 국내에서는 삼성전기에서 이 기술을 금형 인서트 제작에 활발히 응용하고 있다.

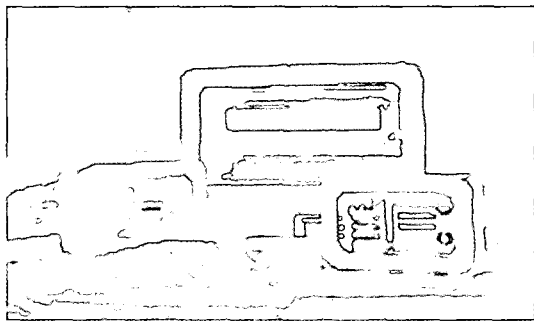


Fig. 2 DTM사의 RapidTool로 제작한 금형 인서트

바인더를 사용하지 않고 직접 금속을 SLS방식으로 소결 또는 용융하는 방법들도 일부 상용화되어 있다. 독일 EOS사는 bronze-nickel분말과 스테인레스 금속분말을 바인더 없이 소결하여 금형 인서트를 제작하는 SLS장비를 1996년 상용화 하였다³⁾. 하지만 이 방법에서도 역시 100% 밀도를 얻지 못하기 때문에 로에서 청동 침투 작업과 표면 후처리 가공이 필요하다. 미국 텍사스 오스틴 대학에서는 High Temperature SLS방식으로 직접 금속 시제품을 제작하는 방법을 연구하고 있으나 온도 1000도까지 미리 분말을 예열하는 장비의 제작 문제와 낮은 정밀도와 표면 품질로 상용화에 어려움을 겪고 있다⁴⁾.

SLS와 달리 분말이 미리 플랫폼 위에 도포 되어 있는 것이 아니라 Laser Cladding 방식처럼 금속 분말 또는 와이어를 노즐을 통해 공급하며 레이저로 용융시키는 직접식 방식이 독일 프라운호퍼 연구소(IPT)와 미국 샌디아 연구소에 의해 각각 독자적으로 CMB

(Controlled Metal Build-Up)과 LENS(Laser Engineered Netshaping)로 개발되었다^{5,6)}. 이 기술은 1998년 미국 Optomec사에 의해 최초로 상용화되었다. 레이저 표면처리 기술인 Laser Cladding으로부터 발전된 이 방식의 특징은 고 출력 레이저를 사용하여 노즐을 통해 공급되는 금속 분말을 완전히 용융시켜 비드를 생성한다(그림 3).

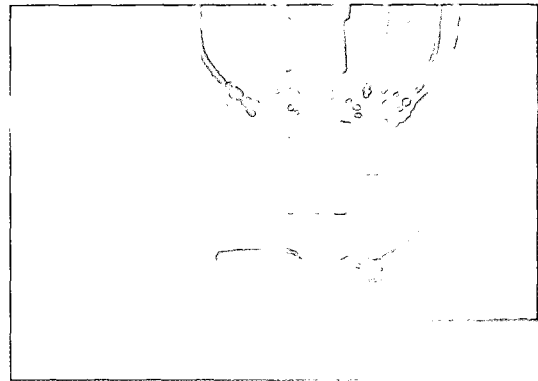


Fig. 3 CMB공정

주로 사용되는 소재는 Stellite21와 304 & 316 스테인레스 금속 계열이지만 이밖에 Iron-Nickel Alloys, H13 & MM10 Tool Steels, 625, 690 & 718 Inconel, Titanium alloys, Tungsten, Haynes 230, Nickel Aluminide등이 있다. 현재 사용되는 레이저 출력은 300-1000W이고 이송 속도는 0.3-1 m/min정도이다.

비드의 적층 두께는 레이저 출력과 분말 이송량로 조절되며 0.1 mm까지 가능하다. 이를 위해 분말 이송량은 0.2g/min까지 미세 조절이 가능하여야 하며 +/-0.1%의 반복 정밀도를 가지고 있어야 한다. 비드의 폭은 레이저 빔의 지름에 의해 결정되며 이는 레이저 광학렌즈와 파트와의 간격을 가지고 정밀하게 조절이 가능하다. 현재 얻을 수 있는 비드의 폭은 0.5-1 mm정도이다.

분말 이송장치와 함께 장비의 핵심 부품인 노즐은 제품의 정밀도를 크게 좌우한다. 개발 초기에는 옆에서 분말을 공급하는 노즐이 사용되었지만 현재는 그림3에 나타나 있는 레이저 빔과 분말의 방향이 일치하는 coaxial nozzle이 사용되고 있다. 이 노즐을 사용하면 용접 결과가 노즐과 제품이 생성되는 테이블의 상대적 이송 방향에 의해서 영향을 받지 않는 장점이 있다. 그림4에는 CMB공정으로 제작한 파트들이 나타나 있다. 크기는 폭 50mm, 높이 40mm이며 사용된 소재는 316L 스테인레스 금속이다. 제작 시간은 얇은 두께의

파트 경우 약 20분, 솔리드 형상은 2시간 정도이다⁷⁾.
 제작된 파트의 내부 단면은 급속 냉각 시 발생하는 dendritic조직을 보이고 있으며 크랙이나 기포가 없다 (그림 5). 완성된 시제품의 정밀도는 바깥쪽 면이 수직선으로부터 +/- 0.1mm정도밖에 벗어나지 않을 정도이고, 표면 조도는 Rp-v=50 μm정도이다.

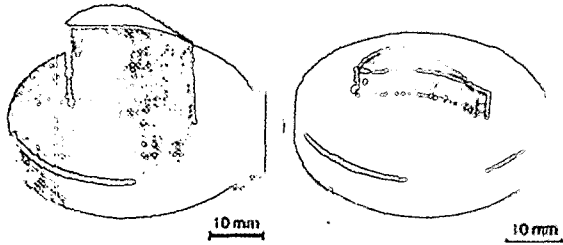


Fig. 4 스테인레스 금속으로 제작한 터빈 블레이드 파트

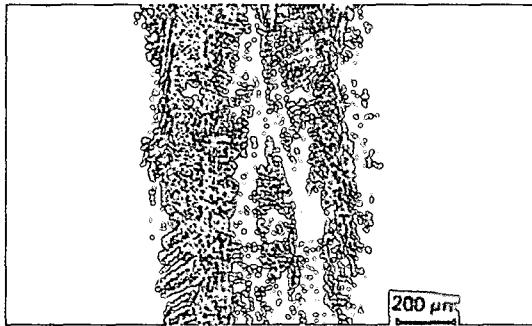


Fig. 5 금속 시제품의 내부조직

3. 금속 판재를 사용하는 쾌속조형 공정

분말이나 와이어 상태의 소재를 사용하지 않고 판재 형태의 소재를 사용하면 각 단면을 생성하는데 일일이 비드를 만들지 않아도 되기 때문에 단면 제작 시간이 대폭 단축된다. 하지만 완성된 단면들을 접합 시킬 때 문제가 발생한다. 현재 미국 Lone Peak Engineering사는 기존의 LOM(Laminated Object Manufacturing)장비에서 종이 대신에 바인더와 혼합된 스테인레스 금속 테이프를 사용하여 급속 시제품을 제작하는 간접식 방법을 상용화 하였다. 금속 테이프에 혼합된 바인더를 통해 판재와 판재가 서로 접합되어 green shape이 완성되면 이를 다시 로에 넣어 바인더를 제거하고 구리 칠투 작업을 수행한다. 이때 앞서 언급한 RapidTool공정처럼 열변형과 수축이 발생하여 정밀도가 감소되는 문제가 발생한다.

바인더를 사용하지 않고 직접 금속 판을 레이저로 절단하여 brazing으로 접합하는 방식은 이미 오래 전부터 사용되었다⁸⁾. 일본 동경대 Nakagawa교수는 70년에 이런 방식을 사용하여 Deep drawing펀치를 제작하였다(그림 6). brazing접합이 어려울 경우 제작된 단면들을 볼트로 한꺼번에 체결하는 방식을 사용할 수 있다. 두께가 큰 철판을 적층할 경우 단면과 단면 사이에 계단식 표면이 발생하기 때문에 3축 NC가공으로 후처리 가공을 해주어야 한다.

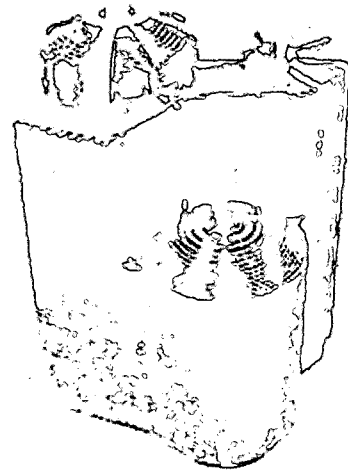


Fig. 6 판재 적층식 방법으로 제작한 Deep drawing 펀치

4. 직접식 쾌속조형 공정의 문제점 및 해결 방안

현재 직접식 방법 중 금속을 레이저로 용융하여 시제품을 제작하는 기술이 가장 앞서가고 있으나 아직까지 해결해야 할 문제가 많이 남아 있다. 예를 들어 용융된 금속의 표면 장력으로 인하여 예리한 각을 얻을 수 없어 표면 품질이 일반 절삭 가공 제품에 비해 떨어진다. 이와 같은 문제는 공정의 특성상 해결할 수 없기 때문에 다른 추가적인 후처리 방법과 연결 되어야 한다.

현재 시도되는 방법중의 하나가 현재 한국과학기술연구원과 한국기계연구원, 홍익 대학교가 공동으로 개발중인 용접과 절삭 가공을 결합시킨 3D Welding and Milling 공정이다. 용접에는 일반 아크나 CO₂레이저가 사용되며 절삭 가공에는 3축 밀링기가 사용된다. 이 공정에서는 먼저 용접으로 한 층을 적층 한 후 윗면을 밀링 가공하여 높이를 정확히 맞추어준 후 가공된 면 위에 다시 용접으로 적층하여 최종 시제품에 가장 가까운 형상(near net-shape)을 생성한다. 적층 작업이 종료된 후 제품의 정밀도와 표면 조도를 향

상시키기 위하여 정삭 가공을 수행하여 준다.

위와 같은 작업을 수행하기 위하여 별도의 장비 구입이 필요 없으며 기존에 사용하는 3축 가공기와 용접장치를 결합만 하면 작업을 수행할 수 있기 때문에 다른 쾌속조형 방식에 비해 매우 경제적인 방식이라 볼 수 있다. 적층 시 지지대를 생성하지 않기 때문에 2 1/2 형상만을 제작할 수 있어 3D Welding and Milling의 가능한 응용 분야는 사출 성형 금형 인서트 제작이다. 그림7에는 3D Welding and Milling으로 제작한 시삭 금형 인서트가 나타나 있다. 코어와 캐비티 인서트의 적층 두께는 1mm이며 제작 시간은 각각 4시간

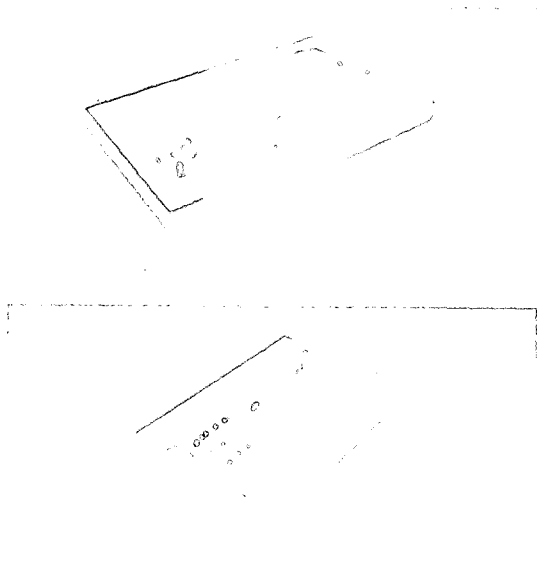


Fig. 7 3D Welding and Milling으로 제작한 핸드폰 금형 인서트

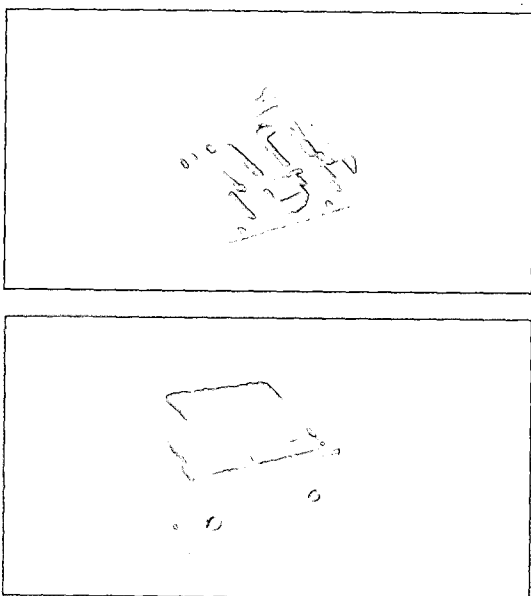


Fig. 8 CAD모델과 3D Welding and Milling으로 제작된 냉각수 통로

적층 : 1시간, 절삭가공 : 3시간 정도 소모되었다.

적층식과 절삭 방법을 결합하면 일반 절삭 방법으로는 제작할 수 없는 형상을 제작할 수 있고 적층 완료후 절삭 가공을 수행함으로써 절삭 가공의 정밀도를 얻을 수 있다. 일반 절삭 가공으로 제작이 불가능한 형상의 예로는 그림 8에 나타나 있는 금형 내부의 냉각수 통로를 들 수 있다.

일반적으로 냉각수 통로는 드릴로 가공하기 때문에 직선 형태로만 가능하지만 위와 같은 적층식 방법을 사용하면 냉각수 통로를 캐비티나 코어 형상에 가장 적합하게 자유자재로 제작 할 수 있다. 이와 같은 conformal cooling channel은 사출성형 시 냉각을 효율적으로 수행할 수 있어 냉각 시간을 단축 시키고 사출 성형 시 불균일한 온도 분포로 인한 제품의 휨을 최소화 시킬 수 있다⁹⁾.

5. 결 론

새로운 설계 검증 도구로써 각광을 받고 있는 쾌속조형 기술은 현재 단순한 디자인 검증용 시제품 제작에서 기능성 시제품 제작용으로 발전해 가고 있다. 기능성 시제품 제작용 소재중 금속은 높은 용융온도 때문에 이를 다루는 쾌속 조형기술의 개발은 어려운 실정이다. 현재 금속을 바인더와 혼합하여 금형 인서트를 제작하는 방법은 상용화되었으나 후처리 시간이 많이 소모되며 후처리 작업 시 정밀도가 저하된다. 이와 같은 문제를 해결하고자 직접 금속 소재를 용융하여 원하는 시제품을 제작하는 방법들이 연구되고 있으며 일부 상용화되었다. 현재 한국과학기술연구원에서는 기계연구원과 홍익대와 공동으로 적층식 방식과 절삭가공을 결합한 3D Welding and Milling공정을 개발하여 금형 인서트 제작용으로 사용할 예정이다.

참 고 문 헌

1. Kruth, J.-P., Leu, M., Nakagawa, T., 1998, Progress in Additive Manufacturing and Rapid Prototyping, Annals of the CIRP, Vol. 47/2, 525-540
2. McAlea, K., et al., 1997, Materials and applications for the Selective Laser Sintering Process, Proc. 7th Int. Conf. On Rapid Prototyping, 23-33
3. Behrendt, U., Shellabear, M., 1995, The EOS rapid prototyping concept, Computers in Industry, 28:57-61

4. Das, S., et al., 1998, Direct Laser Fabrication of a Gas Turbine Engine Component-Microstructure and Properties, Proceedings of Solid Freeform fabrication Symposium, 1-18
5. Klocke, F., Clemens, U., 1997, An RP network for product development, Prototyping Technology International '97, UK & International Press, UK, 57-60
6. Swann, T., Keicher, D., 1998, Laser Engineered Net Shaping(LENS) technology Commercialization, Rapid Prototyping and Manufacturing '98, 739-757
7. Koenig, W., Celiker, T., Song, Y., 1994, Rapid Prototyping of Metallic Parts, Proc. Of the 3rd European Conference on Rapid Prototyping and Manufacturing, 245-256
8. Nakagawa, T., 1994, Application of laser beam cutting to manufacturing of forming tools, Proc. LANE' 94, 871-882
9. Xu, X., Sachs, E., et al., 1998, Designing conformal cooling channels for tooling, Proc. of Solid Freeform Fabrication Symposium, 131-146