한국기계가공학회지, 제14권, 제3호, pp.9～14(2015.6) ISSN 1598-6721(Print)
Journal of the Korean Society of Manufacturing Process Engineers, Vol.14 No.3, pp.9~14(2015.6) ISSN 2288-0771(Online)

http://dx/doi.org/10.14775/ksmpe.2015.14.3.009

◆특집◆ 3D 프린팅 기술 동향과 응용

DMT기술을 활용한 형상적응형 냉각채널 적용 사례 연구

김우성*, 홍명표*, 박준석*, 이윤선*, 차경제*, 성지현*,#, 정민화**, 이예환***
*한국생산기술연구원 대경지역본부 극한제조기술그룹, **(유)대구특수금속, ***(주)엔디에프

Case Studies on Applications of Conformal Cooling Channel Based On DMT Technology

Woo-Sung Kim*, Myung-Pyo Hong*, Jun-Seok Park*, Yun-Soon Lee*, Kyoung Je Cha*, Ji-Hyun Sung*,#, Min-Wha Jung**, Ye-Hwan Lee***
*Ultimate Manufacturing Technology Group, KITECH, **DSM Co.,LTD, ***NDF Co.,LTD.
(Received 11 June 2015 ; received in revised form 16 June 2015 ; 19 June 2015 accepted)

ABSTRACT

The Direct Metal Tooling (DMT) process is a kind of additive manufacturing processes, which is developed using various commercial steel powders, such as P20, P21, SUS420, and other non-ferrous metal powders. The DMT process is a versatile process that can be applied to various fields, such as the molding industry, the medical industry, and the defense industry. Among them, the application of the DMT process to the molding industry is one of its most attractive and practical applications, since the conformal cooling channel cores of injection molds can be fabricated at a slightly expensive cost by using the hybrid fabrication method of DMT technology compared with parts fabricated with machining technology. The main objectives of this study are to provide various characteristics of the parts made using the DMT process compared with the same parts machined from bulk materials and evaluate the performance of the injection mold equipped with a conformal cooling channel core fabricated using the hybrid method of the DMT process.

Key Words : Direct Metal Tooling(금속직접조형), Additive manufacturing(적층가공), Conformal cooling channel(형상적응형 냉각채널), Hybrid method(하이브리드 조형방식)

1. 서 론

최근 산업 전반에 걸쳐 소품종 대량생산에서 다품종 소량생산으로, 더 나아가 개인 맞춤형 생산으로 변모하고 제품의 수명주기가 단축되며 제품의 시장진입시기의 중요성이 증대됨에 따라 제조 산업의 환경변화에 능동적으로 대처할 수 있는 적층제조기술의 중요성이 대두되고 있다.

적층제조(Additive Manufacturing or 3D Printing)는 절삭가공 등과 같이 모재의 불필요한 부분을 깎아서 제조하는 전통적인 가공방식과 달리 컴퓨터에 저장되어 있는 3차원 형상 모델의 기하학적 자료로부터 정보를 받아 2차원의 단면을 한 층씩 쌓아 대상물을 신속하게 조형하는 기술로 정의할 수 있다.

적층가공법은 ASTM International Committee F42에서 적층소재, 적층방식에 따라 1) Material extrusion, 2) Material jetting, 3) Binder jetting, 4)

Corresponding Author : jsung@kitech.re.kr
Tel: +82-53-580-0146, Fax: +82-53-580-0130

Sheet lamination, 5) Vat photopolymerization, 6) Powder bed fusion(PBF), 7) Direct energy deposition(DED) 으로 분류하였다.[1] 하지만 상기 7가지 방식에서 벗어나 다양한 형태의 새로운 3D프린팅 기술개발도 활발히 진행되고 있다.[2-3]

상기 7가지 방식 중 금속을 적층할 수 있는 방식은 Binder jetting, PBF 그리고 DED방식이 있다. 그 중 DED방식은 산업용 금속분말을 주 소재로 사용하며, 고출력의 레이저를 이용하여 분말형태의 소재를 모재와 함께 녹여 붙이는 방식을 통하여 3차원의 실 형상을 제조한다. 따라서 저렴한 상용 금속분말을 사용할 수 있는 점, 기존에 존재하는 3차원 형상위에 적층제조를 구현할 수 있는 점, 적층과정에서 완전용융 후 급속냉각 과정을 수반하기 때문에 타 방식에 비해 기계적 물성이 우수한 점 등으로 자동차, 항공 등의 분야에서 널리 활용되고 있다. 대표적인 DED방식으로 미국 산디아 국립연구소의 LENS(Laser Engineered Net Shape), 미국 미시간 대학의 DMD(Direct Metal Deposition), 그리고 국내에서 개발된 DMT(Direct Metal Tooling) 등이 있다.

이러한 적층가공기술을 이용하면 기존의 가공법으로는 제작이 어려웠던 복잡한 내부 구조를 가지는 3차원 형상을 조형할 수 있으며, 구조물의 각 영역별로 서로 다른 소재를 적용한 다종소재의 구조물을 제작하거나 파손된 금속품의 보수, 리모델링, 표면경화육성도 가능하다. 특히 복잡한 내부구조를 제작할 수 있는 장점을 활용하여 사출제품의 생산성 향상과 변형최소화를 위한 형상적응형 냉각채널(Conformal cooling channel)을 가지는 사출금형 코어 제조에 관한 연구가 활발히 진행되고 있다.[4-7] 형상적응형 냉각채널을 적용한 사출금형은 그 형상의 복잡성 때문에 기존에는 PBF방식을 활용하여 많이 적용되었으나 PBF방식의 사용시 사용가능 재료의 제약성, 고가의 재료비등으로 실제 현장에서의 활용에는 제한이 되어왔다. 하지만 DED방식의 하이브리드 클래딩방식을 활용하면 다양한 재료를 저렴한 비용에 적층할 수 있어 형상적응형 냉각채널을 보유한 사출금형의 실제 현장에서의 활용에 기여할 수 있다.

본 연구에서는 대표적인 DED방식의 적층기술 중 하나인 DMT기술을 활용한 형상적응형 사출금형 연구에 관하여 실 사례 중심의 연구결과를 소개하고자 한다. 이를 위하여 물성연구, 냉각채널 설계 및 선행검증, 시사출 및 냉각성능 평가결과를 포함하였다.

2. DMT기술

2.1 DMT공정의 개요

DMT기술에서 2차원의 단면에 해당하는 금속 층은 고출력 레이저와 연속적으로 공급되는 금속분말에 의해 만들어진다. 고출력 레이저를 모재의 표면에 국부적으로 조사하면 순간적으로 모재 표면에 용융 풀(Melt pool)이 생성되고, 동시에 정밀하게 제어되는 금속분말을 실시간으로 용융 풀에 투입하여 완전용융, 급속응고를 시킨다. 이 과정을 3D 모델로부터 산출된 공구 경로에 따라 움직이며 연속적으로 2차원의 단면에 해당하는 금속 층을 조형하며, Fig. 1에 적층가공 개념도를 나타내었다.

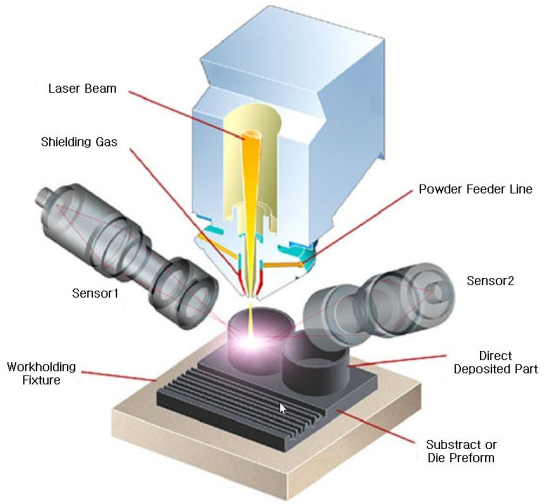


Fig. 1 A diagram of DMT process [8]

2.2 적용 소재

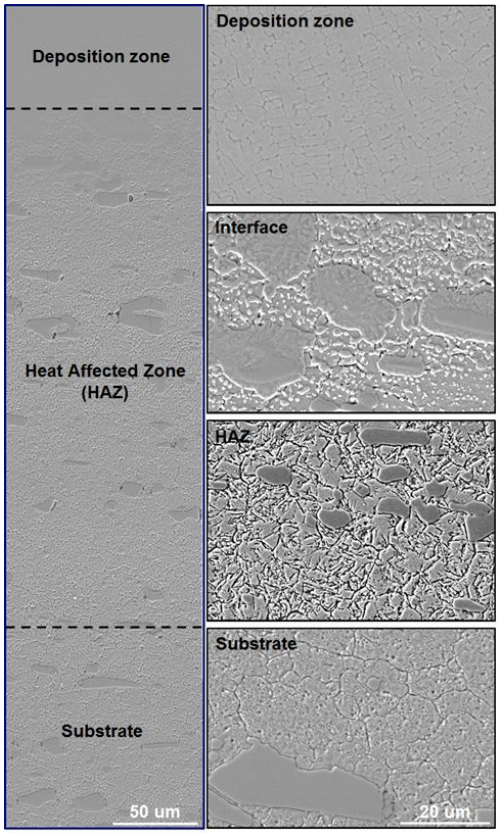


Fig. 2 Micro-structure of cladding SKD11

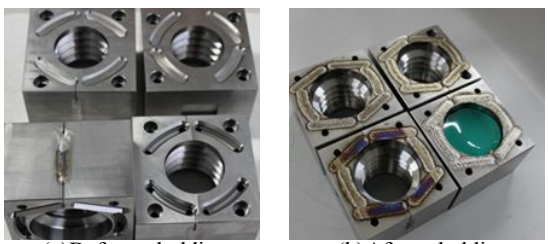
DMT기술은 최대 2kW의 고출력 레이저를 사용하기 때문에 금형강, 공구강, 초합금 등 다양한 상용금속분말을 사용할 수 있다. 그 중 사출금형코어를 제작하기 위한 금속분말소재로는 P20, P21, SUS420J2 등의 소재가 사용되며, 100 μm 전후의 구형의 형태를 가진다.

DMT 적층 후 모재와 적층부 계면에서에 나타나는 조직특성을 살펴보기 위해 SKD11 분말을 사용하여 적층 실험을 수행하였으며, Fig. 2에서 각 영역에서의 조직을 나타내었다. 적층단면은 모재(Substrate), 열영향부(Heat affected zone, HAZ), 계면(Interface), 적층부(Deposition zone)으로 나눌 수 있다.

SKD11의 모재는 템퍼드 마르텐사이트를 기본조직으로 하며 큰 탄화물이 석출되어 있는 형태를 보이며, 그에 비하여 열영향부는 템퍼드 마르텐사이트 조직 내 마르텐사이트가 석출된 형태를 보인다. 계면에서는 탄화물이 용융되어 있는 형태, 적층부에서는 수지상정 형태의 미세조직이 관찰된다. 또한 모재와 적층부의 계면에서 기공, 계면균열 등의 결함이 발견되지 않아 고내구성 및 강성이 요구되는 금형에 적용이 가능하다.

2.3 하이브리드 조형기술

DMT기술은 3차원 형상위에 자유롭게 추가 형상을 적층할 수 있으며, 계면에서의 결합력이 매우 우수하기 때문에 하이브리드 조형이 가능하다. 하이브리드 조형이란 처음부터 끝까지 적층가공에 의해 형상이 완성되는 직접조형과는 달리 기계가공 후 적층이 필요한 부분만 조형하는 방법으로 시간적, 금전적 비용을 크게 절약할 수 있는 조형방식으로 Fig. 3에 하이브리드 조형 사례를 나타내었다.



(a)Before cladding (b)After cladding

Fig. 3 Hybrid cladding method

3. 사출금형 적용사례

3.1 단순형상에 대한 적용

대상금형은 단순형상의 플라스틱 컵을 제조하는 사출금형으로 강성을 유지하기 위해 오목한 바닥부를 가지고 있다. 기존의 배플(Baffle) 냉각방식은 컵의 측벽과 바닥부 사이의 공간에 냉각수를 공급하기 어렵기 때문에 많은 냉각시간이 요구된다. DMT기술을 적용하여 Fig. 4와 같이 형상적응형 냉각채널을 구현하게 되면 제품의 끝단부 까지 냉각수 공급이 가능해져 냉각성능을 향상시킬 수 있다.

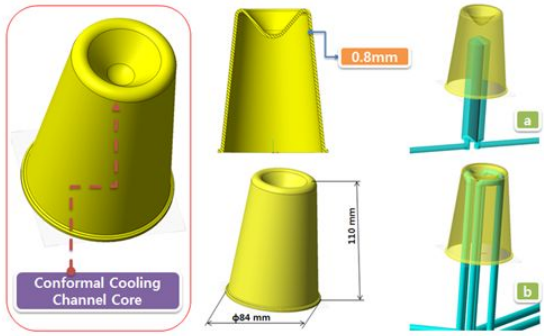


Fig. 4 A comparison of normal and conformal cooling on simple shape

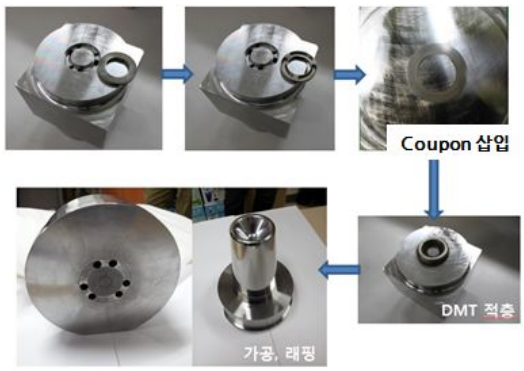


Fig. 5 Hybrid cladding method for simple shape

사출성형해석을 통하여 제안된 형상적응형 냉각채널의 성능을 검증하였으며, 약 63% 정도의 냉각성능 향상이 예상되었다. 특히 바닥부의 온도균일성이 크게 개선됨을 확인하였다.

선행연구결과를 바탕으로 형상적응형 냉각채널 코어를 제작하였다. 먼저 기계가공이 가능한 수직 냉각채널을 기계가공으로 가공을 한 후 냉각채널을 구성하는 상부를 Coupon으로 제작하여 조립하고 그 위를 DMT기술을 활용하여 적층을 한 후 최종가공하는 과정으로 제작하였으며, 그 과정은 Fig. 5에 나타내었다.

시사출 결과 냉각시간은 배플냉각을 사용한 금형에서 16초, 형상적응형 냉각채널을 적용한 금형에서 10초가 소요되어 냉각성능이 약 35% 개선되었다.

3.2 TPE BOOT 금형에 대한 적용

TPE BOOT는 자동차 브레이크 시스템 중 부스터 내측에 위치하는 부품으로 레진으로 성형되는 대표적인 사출품이다. 기존 금형의 경우 건드릴 가공에 의한 직선형 냉각채널이 적용되어 냉각불균형에 의한 변형, 냉각요구시간 과다 등의 문제점이 존재하였다. 따라서 Fig. 6과 같이 형상적응형 냉각채널을 적용하여 냉각성능을 개선하였다.

사출성형해석을 통하여 냉각균일성이 5℃ 이하로 매우 양호함을 확인하였으며, 하이브리드 조형방식에 따라 Fig. 3의 과정으로 형상적응형 냉각채널을 구현하였다. 양산적용 후 내부구조 확인 및 부식여부 평가를 위하여 Fig. 7과 같이 단면을 절단하여 나타내었다.

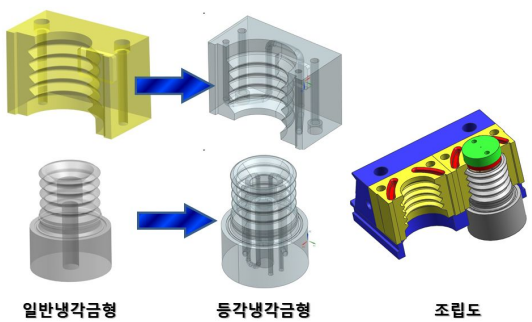


Fig. 6 A comparison of normal and conformal cooling on TPE BOOT

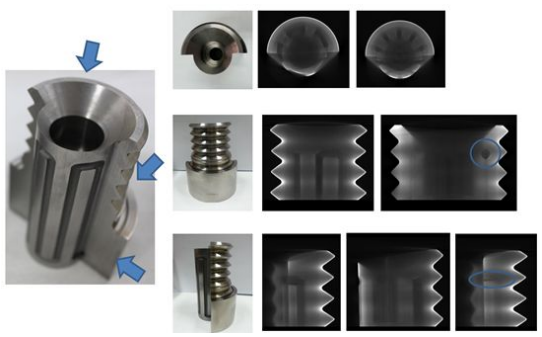
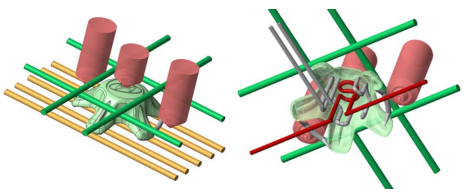


Fig. 7 Inner structure of cladding mold core

3.3 WHEEL HUBCAP 금형에 대한 적용

기존 금형의 경우 건드릴에 의한 직선형 냉각채널 가공으로 인하여 내부 냉각이 불가능하기 때문에 냉각시간과다, 냉각불균형에 의한 제품 변형 등의 문제가 빈번하게 발생한다. 이러한 문제점을 해결하기 위하여 내부의 효율적 냉각을 위한 형상적응형 냉각채널을 적용하였으며 Fig. 8에 기존냉각과 형상적응형 냉각을 비교하였다.

사출성형해석을 통하여 냉각성능이 개선됨을 확인한 후 하이브리드 조형방식에 따라 적층금형을 제작하였다. Fig. 9와 같이 기계가공 후 냉각채널 연결을 위한 쿠폰(Coupon) 제작하였으며, 쿠폰 삽입 후 마감 적층 순서로 형상적응형 냉각채널 금형 코어를 제작하였다.



(a) Normal (b) Conformal

Fig. 8 A comparison of normal and conformal cooling on wheel hubcap

Fig. 9 Hybrid cladding process of wheel hubcap

실제 사출결과 냉각시간은 32초에서 19초로 총 사이클타임은 56초에서 39초로 줄어 냉각시간은 40%, 그리고 사이클타임은 30%향상되는 결과를 보였다.

4. 결 론

본 연구에서는 DED적층가공 방식 중 하나인 DMT기술을 이용한 형상적응형 냉각채널의 제작 응용사례를 소개하였고 아래와 같은 3가지 결론을 얻었다.

1. DMT 적층 계면부는 결함이 없으며, 모재보다 우수한 기계적 물성을 가지기 때문에 금형으로의 응용이 가능하다.
2. 하이브리드 조형방식을 통하여 효율적인 적층금형 제작이 가능하다.
3. 형상적응형 냉각채널이 적용된 금형의 경우 선행해석, 시사출 모두 기존 냉각방식에 비해 우수한 냉각성능을 보였다.

후 기

“본 연구는 한국생산기술연구원의 기관고유임무형 연구사업인 RCOE육성사업으로 수행되었음.”

REFERENCES

1. Wohlers Associates: Wohlers Report 2015 3D Printing and Additive Manufacturing State of the Industry, Wohlers Associates. Inc. 2015, 28-39.
2. Ko. H. J., Kim, H. C, Yoon, H. R., and Lee, I. H, “Prototyping for MID Cruise Control Switch,” Proceeding of the KSMPE Spring Conference, pp.108, 2013.
3. Woo, S. G, Lee, I. H, Kim, H. C., Lee, K. C., and Cho, H. Y, “Development of a Photopolymer-based Flexible Tactile Sensor using Layered Fabrication and Direct Writing,” Journal of the Korean Society of Manufacturing Process Engineers, Vol.13 No.2, pp.8-14, 2014.
4. Dalgano, K.W. and Stewart, T.D.: Manufacturing

of production injection mould tooling incorporating conformal cooling channels via indirect selective laser sintering, Proceedings of the institution of Mechanical Engineers Part B, Journal of Engineering Manufacture, Vol. 215 (2001), 1323-1332.

5. Knights, M.: Rapid tooling is easy for prime time, Feature Article in Plastic Technology, March 2005.
6. Kim, J.D., Hong, S.K., Lee, K.H., Kim, M.A., Lee, D.K.: Implementation of 3-Dimensional Cooling Channel in Injection Mold Using RT Technology, Proceeding of Autumn Symposium of Korean Society for Precision Engineering, 2006, 199-200.
7. Seo, J.H., Lee, C.W., Woo, S.S., Kim, J.S., Kim, D.J., Kwak, D.W., and Oh, E.T.: Application of DMT Technology for High-Performance Multi-Material Metal Part Fabrication, A Research paper (govp1200513978), 2005, Ministry of Science and Technology.
8. http://www.insstek.com/tech/index.htm