

레이저 직접금속조형(DMM)기술에 의한 금형제작 및 보수

지해성*(홍익대 기계공학과), 서정훈(㈜ 인스텍 대표이사)

Die Manufacturing and Repair Using Laser-Aided Direct Metal Manufacturing

H. S. Jee(Mecha. Eng. Dept. HIU), J.H. Suh(InssTek Inc.)

ABSTRACT

Direct Metal Manufacturing (DMM) is a new additive process that aims to take die making and metalworking in an entirely new direction. It is the blending of five common technologies: lasers, computer-aided design (CAD), computer-aided manufacturing (CAM), sensors and powder metallurgy. The resulting process creates parts by focusing an industrial laser beam onto a tool-steel work piece or platform to create a molten pool of metal. A small stream of powdered tool-steel metal is then injected into the melt pool to increase the size of the molten pool. By moving the laser beam back and forth, under CNC control, and tracing out a pattern determined by a computerized CAD design, the solid metal part is built line-by-line, one layer at a time. DMM produces improved material properties in less time and at a lower cost than is possible with traditional fabrication.

Key Words : Die repair (금형보수), DMM (직접금속조형), RP(신속조형/쾌속조형), RT (신속/쾌속시작기술)

1. 서론

지금까지 RP 기술에 토대를 둔 신속시작기술(迅速試作技術) 이라고 불리우는 RT(Rapid Tooling) 기술들의 공통적인 특징은 우선 mold 나 die 의 패턴(pattern) 을 신속하게 제작하고 난 후에 이를 이용하여 tool 의 net shape 형상을 제작하는 것이 주된 방식이었다. 가장 대표적인 예인 3D Systems 사의 Keltool[1] 공정은 RP 공정에 의해 생성된 silicone RTV submaster 에 금속분말과 접착액의 혼합물을 부어 2 차공정을 거치면서 결과물의 재질은 bronze, stellite, A6 tool steel 등 hard tooling 용 tool 이 제작되기 때문이다. 이와 같은 공정으로는 Keltool 이외에도 역시 3D Systems 사의 QuickCast 와 그리고 Soligen 사의 DSP 등도 들 수 있는데 이 기술들은 이미 상용화되어 현재 산업체에서 적용 중이다 [2].

최근에 이들과는 좀더 차별되는 기술로서 금속이나 세라믹등의 분말재료를 단독 혹은 상호 혼합하여 near-net shape 에서부터 net shape tool 그 자체까지를 마스터 모델없이 직접 RP 공정으로부터 얻어내는 직접금속조형기술(direct metal manufacturing)

도 많이 개발되어 발표되고 있다. 이 기술들은 적층형 RP 조형 장비를 이용한다는 점에서는 별 차이가 없으나 중간의 마스터패턴제작 공정을 거치지 않고 곧바로 기능성재료의 시작금형을 제작한다는 점에서 그 궤를 달리하는데 최근에는 DTM 사의 RapidTool[3]이나 ExtrudeHone 사의 ProMetal[4]이 널리 이용되고 있다.

이밖에도 제작된 파트의 기능성 및 제작공정의 활용도면에서 훨씬 뛰어난 또 하나의 직접금속조형 기술이 최근에 주목을 받고있는데 이것이 바로 레이저 직접 금속조형(laser-aided direct metal deposition: DMD)기술이다. 이 기술은 기존의 절삭에 의존한 tooling 공법에서와 같은 공정설계 단계를 거치지 않고 곧 바로 프레스 금형과 냉간 단조 금형 파트, 그리고 복잡한 형상의 플라스틱 금형용 인서트등에 이르기 까지 폭넓게 제작이 가능하며 무엇보다도 레이저가 갖고 있는 열 특성상, 기존의 육성용접에 의한 금형보수 분야에서 치명적인 단점으로 지적되어 온 고열용접 후의 모재와 용접부위간에 경도편차와 얼룩무늬의 발생, 그리고 기계적 재료성능 저하와 같은 문제점들을 수반하지 않으므로 금형의 직접적인 開補修 시에 보다 더 효과적으로 활용될 수

있다는 점이 최대의 장점이다.

이 분야의 상용업체로는 레이저에 의해서 생성된 용융물에 금속분말을 사출하여 증착시킴으로서 금속파트를 직접조형할 수 있는 시스템을 개발하여 상용화한 Optomec 사[5] 와 POM 사[6]를 들 수 있는데 Optomec 사에 의해서 상용화된 LENS(Laser-engineered-net-shaping)시스템은 Sandia National Lab. 에서 Nd:YAG (Neodymium: Yttrium Aluminum Garnet) 레이저를 이용하여 그리고 POM 사에 의해서 상용화된 DMD(Direct-metal-deposition) 시스템은 CO2 레이저를 사용하여 미시간대학에서 각각 연구 개발된 것이다. 국내에서는 2001 년에 미국에 이어 세계에서 2 번째로 레이저 직접금속조형기술을 상용화하였다[7].

이 기술의 주된 응용분야인 국내 금형업체의 2001 년 생산규모는 가전산업과 통신기기, 그리고 반도체 산업의 금형발주 증가에 따라 2 조 5,640 억 원에 이를 것으로 추정되며 금형수출 또한 약 6 억 8 천만 달러를 상회할 것으로 추정된다[8]. 한편 각 회사마다 매년 마모 등으로 파손된 금형을 수리하거나 제품개발 시 잦은 설계변경에 따라 금형을 수정하는 작업이 많음에도 불구하고 이에 대한 정량적인 데이터는 발표되지 않아 금형보수와 수리 시장규모는 정확한 규모를 추측하기 매우 어렵지만 간접적인 통계 데이터를 바탕으로 금형 수리시장을 예측할 경우 국내 금형 시장규모의 20%정도인 5,000 억 원 정도로 추정하고 있다. 특히, 금형제작에 있어서 한 품목 당 3-4 회의 시방설계변경이 발생되고, 이로 인한 금형의 보수(refurbishment) 비용이 추가적으로 발생하게 되므로 실제 금형 보수시장 규모는 예상치를 훨씬 상회할 것으로 예상된다.

본 논문에서는 이와 같은 레이저 직접 금속조형 기술의 원리를 먼저 소개하고 이를 금형제작과 보수에 적용하고있는 최근의 기술동향에 대하여 서술하고자 한다.

2. 레이저 직접금속조형기술의 특징

2.1 직접금속조형기술

직접조형기술의 특징은 다음과 같이 요약될 수 있다.

첫째, 직접금속조형기술을 이용한 RT 기술의 장점 중에서 가장 중요한 점은 사출 금형용 tool 의 성능에 직접적인 영향을 주는 냉각수로 (cooling channel)를 자유자재로 금형에 삽입할 수 있다는 것이다. 한 예로 미국금형조합의 연구발표에 따르면 플라스틱사출금형에 의한 사출공정에서 냉각공정이 전체시간의 60%를 차지하므로 냉각수로를 최적으로 배치하면 전체 사출공정시간은 40% 나 감소시

킬 수 있는 것으로 보고되었다. 이와 같은 시간적인 잇점이외에도 냉각수로가 자유형상주위로 최적으로 배치되므로 파트의 재질도 좋아지므로 불량률이 낮아지게 된다.

둘째, 직접금속조형공법은 한 개의 단일 파트내의 금형재질을 여러가지 복합재료로 다양하게 조합을 줄 수 있어 (functionally graded material) 파트의 각 부위별로 필요한 재질성능을 최적으로 조절할 수 있다. 즉 예를 들어 하나의 파트내에서 내마모성을 가진 재료와 내열성을 가진 재료를 부위별로 조합하여 제작하면 각각의 장점을 모두 갖춘 기계부품을 제작할 수 있게 된다.

현재 직접금속조형기술을 이용한 시작금형 (試作 金型)의 제작은 SLS 기술을 이용하는 DTM 사의 RapidTool 과 ExtrudeHone 사의 ProMetal 이 알려져 있다. 예를 들어 미국 MIT 공과대학의 3D Printing 기술의 license 를 넘겨받아 상업화 시킨 미국의 Extrude Hone Corporation 의 ProMetal 은 stainless steel tungsten 그리고 tungsten carbide 를 포함하는 여러 가지 금속재료의 분말을 소재로 하여 금속소재형상을 직접 제조하고 있는데 제조된 금속 소재 형상들은 후처리를 거치면서 이론적으로는 92% 정도의 밀도를 가지며 infiltration 을 거치면서 보다 치밀한 소재조직을 얻을 수도 있기 때문에 플라스틱 사출금형의 tool insert 로도 충분히 쓰여 질 수 있다. 그러나 3D Systemes 사의 Keltool 공법과 마찬가지로 DTM 사의 RapidTool 공법과 ExtrudeHone 사의 ProMetal 공법은 둘다 infiltration 작업에 필요한 추가적인 시간이 요구되므로 정밀도측면에서 뿐만 아니라 내구성과 시간단축측면에서 조금 더 개선이 필요한 실정이다.

2.2 레이저직접금속조형기술

레이저 직접 금속조형(laser-aided direct metal deposition: DMD)기술의 특징은 기능성 소재(금속, 합금, 세라믹 등)의 분말을 컴퓨터에 저장된 3 차원 디지털 형상정보(digital data of 3D subjects)에 따라 정밀하게 레이저로 직접 용착시키는 소위 레이저 클래딩(laser cladding) 기술을 이용하여 2 차원의 조형층을 물리적으로 구현한다. 여기서 레이저 클래딩 기술이란 시편 표면에 레이저 빔을 조사하여 용융물을 만들고, 동시에 외부로부터 분말형태의 소재를 공급하여 시편표면에 새로운 클래딩층을 형성시키는 기술이다 (Figure 1).

레이저 클래딩 기술은 기존의 플라즈마 용사, 아크 용접 등의 기존 기술에 비해 여러 가지 우수한 장점을 가지고 있다. 우선 모재와 클래딩 층이 완전한 용융접합(fusion bonding)을 이루기 때문에 모재와 클래딩 층 사이의 접합이 매우 우수하다.

그리고 모재에 적은 에너지가 흡수되므로 모재의 용융을 최소화(reduction in dilution)할 수 있고, 따라서 기존의 방법에 비해 열 뒤틀림(thermal distortion)이 적고, 클래딩 층의 기공률을 낮추거나 없앨 수 있으며, 클래딩 층을 정밀하게 원하는 위치에 입힐 수 있어 후가공 비용을 줄일 수 있다. 또한 이 기술을 이용하면 대기 중에서 한 번의 공정으로 급속 용고조직이 형성되어 0.3에서 3 mm 두께의 클래딩 층을 얻을 수 있고 비교적 매끈한 표면(대략 25 μm RMS)을 얻을 수 있다는 점 이외에도 자동화가 용이하다는 특징도 갖추고 있다. 레이저 클래딩 기술은 기계부품이나 구조재의 모재 특성에 영향을 주지 않고 실제 응용에 요구되는 표면 특성을 갖는 클래딩 층을 입히는 데 이용된다. 선진국에서는 1981년 영국 Rolls Royce 사[9]가 RG211 엔진의 "turbine blade shroud interlocks"를 레이저 클래딩 한 것을 시작으로, 자동차, 항공, 발전, 기계산업을 중심으로 부품 표면에 내마모성, 내열성, 내침부식성 등의 특성을 부여하기 위해 활발히 산업에 응용되고 있으나, 안타깝게도 국내에서는 이 기술에 대한 수요가 많음에도 불구하고 적절한 기술을 갖춘 상용업체가 없어 아직 산업에 적용되지 못하고 있다.

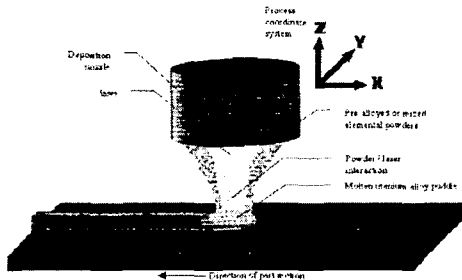


Fig. 1 An illustration of laser cladding process

한편 레이저 직접 금속조형 공정은 이와 같이 증착된 레이저 클래딩 층을 한층 한층 적층하여 3차원 제품형상, 혹은 제품 생산에 필요한 tool 들을 기존에 tooling 공법과는 비교할 수 없는 매우 빠른 시간내에 (통상 24 시간 이내) 신속하게 조형할 수 있는 신기술이다 (Figure 2). 레이저 직접 금속조형 공정의 장점들을 열거하면 다음과 같다.

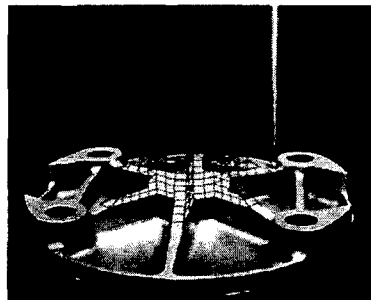
첫째, CNC 및 기타 가공기계를 이용한 절삭과 주조 등의 기존 어떤 가공방식과 비교할 수 없는 빠른 시간 내에 기능성 금속 시작품(functional metal prototype), 시작 및 양산 금형을 성형할 수 있다.

둘째, 기존 방법으로는 가공할 수 없었던 복잡한 형상의 금속파트와 각종 시작 tools 의 신속한 제작이 가능하므로, 시작기간이 단축되고 신제품의 개발기간 및 비용을 획기적으로 절감하는 효과를

얻을 수 있다.

셋째, 이 기술을 이용하면 매년 모델이 바뀔 때마다 쓸모없이 버려지고 있는 막대한 양의 금형에 동일한 소재로 적층하여 새로운 제품모델용 금형으로 다시 재 활용하여 리모델링할 수 있는 길이 thereby 제조업체의 원가절감과 그에 따른 산업체 전이 효과가 막대할 것으로 추산된다.

이와 같은 장점들로 말미암아 레이저 직접 금속조형기술은 소품종 대량생산(mass production)에서 다품종 소량생산(mass customization)으로 생산방식이 변모하고 제품의 수명주기(life cycle)가 단축되어 제품의 시장진입시기(time-to-market)의 중요성이 점점 강조되고있는 최근 제조산업의 환경변화에 유연하게 대처할 수 있는 기반기술로서의 역할을 수행할 수 있을 것으로 예측된다.



Conceptual illustration of the AeroMet Lasform process

Fig. 2 An illustration of DMD process

3. 레이저 직접 금속조형과 금형제작

3.1 금형제작 및 보수

이 기술은 여러가지 응용분야를 목표로 하고 있는데 그 중 가장 수익성이 높은 분야로 금형시장을 들 수 있다. 그 한 예가 사출금형시장인데 전통적으로 사출금형 분야에서는 경화처리된 철계열 블록을 밀링가공으로 절삭하여 금형 캐비티를 만들어 왔는데 이 공정은 정교하게 금형을 제작할 수 있는 장점을 가진 반면 제작시간이 매우 많이 소요된다는 단점이 있었다. 레이저 직접 금속조형기술은 기존의 절삭 방식보다는 정교함에서 다소 뒤떨어지나 금형 제작시간이 빠르고 특히 열영향을 거의 받지 않는다 (Figure 3). 미국 NCMS(National Center for Manufacturing Science)의 Westmoreland 의 분석[10]에 의하면, 조형 대상물에 따라 차이가 있지만, "직접 금속조형기술은 기존 금형 제작시간을 40% 이상 단축시킬 수 있고, 미국 금형시장에서만 수십억 달러가량 절감시킬 수 있는 잠재력을 가지고 있다.(‘97년 미국의 금형생산 규모는 대략 \$10.8billion으로 추산됨.)"고 발표되었다. 특히 금형육성보수의

경우 기존의 육성용접기법에 의한 방법보다 훨씬 우수한 금속재료적 성질을 갖는 금형보수가 가능하다.

금형보수분야는 그동안 손상된 각종 금형을 보수 및 재생하는 사업으로서 기존에는 균열(cracked), 파손(broken), 열손상(heat-checked) 등으로 인해 금형 혹은 tools 가 손상되었을 때, 용접 방법을 이용하여 보수하고 있으나, 보수 후 제품의 품질이 크게 저하되고 용접보수를 위해 금형의 예열(pre-heat treatment) 및 후 열처리(post-heat treatment)가 필요하며 후가공 시간이 많이 소요된다. 따라서 생산증단에 따른 비용손실이 크게 증가하고, 더욱이 금형을 새로 교체할 경우 비용부담은 더욱 커지고 장기간의 생산지연으로 인해 발생하는 경제적인 손실이 막대하지만 직접 금속조형기술을 사용할 경우, 열처리 없이 공구강 또는 고객이 원하는 소재를 이용하여 금형의 손상된 표면을 기존의 용접공정에 비해 매우 짧은 시간에 새것처럼 보수 및 재생이 가능하다.

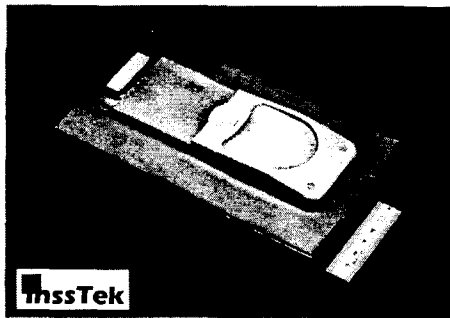


Fig. 3 Injection mold insert by DMD process

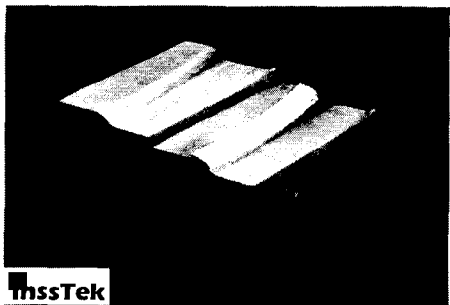


Fig. 4 Press die part by DMD process

이밖에도 자동차 프레스 금형의 trim die cutting edges 를 제작하거나 (Figure 4), 자동차 알루미늄 실린더 헤드의 밸브시트의 개질, 자동차 실린더 밸브 및 각종 밸브의 hardfacing 그리고 자동차 tarpet 및 디젤엔진 실린더 내벽의 경화 열처리등이 가능하다. 금속, 합금, 등의 기능성 소재를 사용하여 기

능성 시작품을 제작하거나 항공/군사/우주산업 부품의 보수(Aerospace & Aircraft Component)가 가능하다. 또한 금형내부에 conformal cooling channel 을 삽입하거나 금형 내부에 열 전도도가 좋은 소재를 heat sink 로 삽입시켜, 생산성을 크게 향상시키고 금형 내부의 온도분포를 항상 균일하게 유지시킬 수 있는데 사출성형 금형의 경우, 생산성이 30 - 50% 가량 증가하고, 제품의 품질도 향상된다. 또한, functional gradient materials 및 센서가 삽입된 고기능 금형파트의 제작이 가능하다.

4. 결론

레이저 직접 금속조형(laser-aided direct metal deposition: DMD)기술의 특징은 기존의 tooling 공법에서의 공정설계 단계를 거치지 않고 곧 바로 프레스 금형과 냉간 단조 금형 파트, 그리고 복잡한 형상의 플라스틱 금형용 인서트 제작등에 이르기 까지 폭넓게 적용이 가능하며 무엇보다도 레이저가 갖고 있는 열 특성상, 기존의 육성용접에 의한 금형보수 분야에서 치명적인 단점으로 지적되어온 고열용접 후의 모재와 용접부위간에 경도편차와 얼룩 무늬의 발생, 그리고 기계적 재료성능 저하와 같은 문제점들을 수반하지 않으므로 금형의 직접적인 開補修 시에 보다 더 효과적으로 활용될 수 있다.

이제 국내에서도 레이저를 이용한 직접금속조형 기술이 금형업체의 금형제조 및 보수기술과 연계된 기존의 상업용 시작품개발 및 고부가가치 금속파트 제조 공정에 투입되어 보다 효율적이고 바람직한 결과가 도출되기를 기대해 본다

참고문헌

1. <http://www.3dsystems.com>
2. Jacobs, Paul F., Stereolithography and other RP&M Technologies, SME/RPA, ASME Press, 1996
3. <http://www.dtm-corp.com>
4. <http://www.extrudehone.com>
5. <http://www.optomec.com>
6. <http://www.pom.net>
7. <http://www.insstek.com>
8. 한국금형공업총람, 1999.
9. Laser Surface Treatment of Metals, San Miniato, Italy, 2-13 Sept. 1985, p545-549 (Martinus Nijhoff Publisher 1986)
10. JOM, Vol.49, No.5, p.55-60, May 1997.