

# SLS 공정을 이용한 Fe-Cr 분말의 적층에 관한 연구

손영명<sup>1</sup> · 장정환<sup>1</sup> · 주병돈<sup>1</sup> · 성민영<sup>1</sup> · 문영훈<sup>#</sup>

## Characterization for selective laser sintered Fe-Cr powder

Y. M. Son, J. J. Jang, B. D. Joo, M. Y. Sung and Y. H. Moon

### Abstract

Selective laser sintering (SLS) is a fast growing process of rapid production for metallic based parts. To restore damaged mold surface using SLS, single layer experiments of 20  $\mu\text{m}$  Fe-Cr powder was performed under various heat input. Process window of 20  $\mu\text{m}$  Fe-Cr powder provided feasible process parameters for the smooth regular surface. To estimate coherence between melted powder and basematal, tendency of hardness distribution has been observed. Hardness of melted zone and remelted zone was diversified from 5GPa to 6.5GPa. It is over 2 times compared of hardness of basemetal. Average surface roughness of each direction on surface of melted powder was measured. Experimental results show that the mold restoring process using SLS can be successfully applied in the mold repair industry.

**Key Words** : Selective Laser Sintering, 20  $\mu\text{m}$  Fe-Cr powder, Fiber laser, Nano indenter

### 1. 서 론

선택적 레이저 소결(Selective Laser Sintering: SLS) 공정은 현재 상업적으로 널리 사용되고 있는 쾌속조형 공정중의 하나로 얇은 분말 층에 선택적으로 레이저를 주사하여 부분적으로 분말이 소결 또는 용융되도록 한 후, 그 위에 다시 새로운 층을 쌓아가면서 원하는 제품을 제작하는 공정이다 [1~3]. SLS 기술을 금형의 보수에 적용할 경우, 레이저가 갖고 있는 열 특성상, 기존의 육성용접에 의한 금형보수 분야에서 단점으로 지적되어 온 고열용접 후 모재와 용접부위 간의 기계적 성질의 저하, 그리고 얼룩무늬의 발생과 같은 문제점들을 수반하지 않으므로 금형의 직접적인 보수 시에 보다 더 효과적으로 활용할 수 있다[4]. 본 연구에서는 SLS 기술을 금형의 보수에 적용하기 위하여 사출 열간 금형으로 널리 쓰이는 AISI H13(열간금형강)을 대상재료로 선택하였고 용융재료로는 20  $\mu\text{m}$  Fe-Cr 분말을 선택하였다. 금형보수를 위해 다양한 레이저 공정변수 조건에서의 단층

(single layer)적층 실험을 통하여 레이저 주사 후의 20  $\mu\text{m}$  Fe-Cr 분말의 표면 거동 분석을 실시하여 적층 가능 범위를 분석하였다. 이 결과를 바탕으로 다층(multiple layer)적층 실험을 실시하여, 금형강에 적층 시편을 제작하고 적층부와 재용융부의 두께, 경도, 결합의 양호성, 표면 조도 등을 분석하였다.

### 2. 실험 방법

#### 2.1 실험 재료 및 장치

본 연구에 사용된 AISI H13 은 열 충격 및 열피로에 강하며, 내마모성과 내열성에 강점이 있어 가공용 공구나 정밀금형 및 열처리 금형에 쓰이며[5] 화학성분은 Table 1 과 같다. 용융용 분말 소재로 20  $\mu\text{m}$  Fe-Cr 분말을 실험에 사용하였고 분말의 성분은 Table 2 와 같다. 본 연구에서 사용된 장치는 Fig. 1 에 나타내었다. 열원인 화이버(fiber) 레이저는 IPG 사의 YLR-200 을 사용하였고, 파장은 1.07  $\mu\text{m}$ , 최대출력은 200W 이고 빔 직경은 80  $\mu\text{m}$ 이

1. 부산대학교 기계공학부/정밀정형 및 금형가공 연구소  
# 교신저자: 부산대학교, E-mail : yhmoon@pusan.ac.kr

다. 그리고 레이저 주사방식을 조절하는 장치인 scanner 는 SCANLAB 사의 hurrySCAN®20 을 사용 하였다. 작업 부의 산화방지를 위해 N<sub>2</sub> generator 를 설치하여 N<sub>2</sub> 분위기를 유지 하였다. z 축의 이동 조절이 가능한 실린더는 최소 10 μm 제어 가능하다.

### 2.2 단층 적층 실험

20 μm Fe-Cr 분말의 레이저 출력과 주사속도에 따른 표면 적층 거동을 분석하기 위하여 금형강에 100 μm 높이로 분말을 도포한 후 레이저 주사 간격(fill spacing) 은 60 μm로 고정하고 레이저 출력 (50, 100, 150, 200(W))과 주사속도(33.6~439.2(mm/s)) 를 변경하며 10mm × 10mm 의 정사각형으로 레이저를 주사하여 출력과 속도에 따른 20 μm Fe-Cr 분말의 표면용융형태와 매끄러운 표면(smooth regular surface)을 형성하는 출력에 따른 입열량의 범위를 알아보기 위한 실험을 실시하였다.

### 2.3 다층 적층 실험

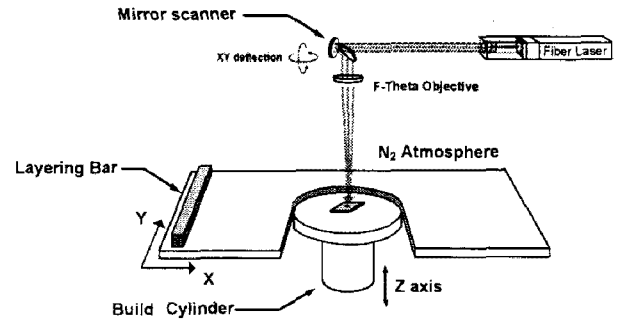
앞선 단층 실험을 실시하여 구해진 출력과 입열량에 따른 process windows 를 바탕으로 매끄러운 표면을 형성하는 조건인 레이저 출력 200W, 레이저 주사속도 219.6mm/s, 레이저 주사 간격 60 μm, 레이어 간격(layer thickness) 50 μm로 4 층을 적층하는 다층실험을 실시 하였다. Fig 2 는 적층 시 레이저 주사방식을 보여주는데, 크로스 헤칭(cross hatching) 방식을 적용하여 적층을 용이하게 하였다. 본 실험에서는 시작점을 0, 90, 180, 270 로 바꿔가면서 다층실험을 실시 하였다. 부위별 경도실험을 위해 Nanoindenter® XP (MTS, USA)를 사용하여 연속강성측정법(CSM)으로 수행하였다. 표면조도측정기 DIAVITE DH-6 를 사용하여 평균 표면 조도를 측정하였다.

**Table 1 Chemical composition of AISI H13**

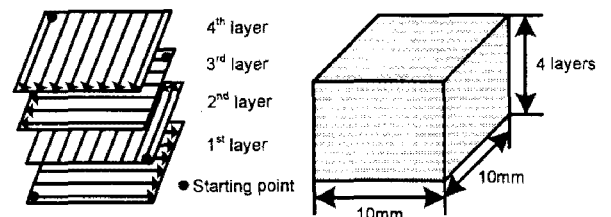
Element	Fe	Cr	Ni	Mo	Si	V	Mn	C
Wt.%	Bal.	5.2	1.3	1.23	1.12	1.1	0.41	0.41

**Table 2 Chemical composition of 20 μm Fe-Cr powder**

Element	Fe	Cr	Ni	Al	Si	S	Mn	Mo
Wt.%	Bal.	18.2	7.6	0.7	0.6	0.3	1.2	0.2



**Fig. 1 Schematic drawing of laser system**



**Fig. 2 Illustration of layer cross-hatching technique and specification of specimen**

## 3. 결과 및 고찰

### 3.1 단층 적층 실험

식 (1)은 레이저 에너지 밀도 계산식이다[6].

$$\text{Heat Input}(\text{J}/\text{mm}^2) = P/D \times V \dots\dots(1)$$

P = laser power (W)

D = spot diameter (mm)

V = scan rate (mm/s)

에너지 밀도에 따라서 크게 3 가지의 표면패턴을 Fig. 3 에 나타냈으며 에너지 밀도 크기는 Type I > Type II > Type III 순이다. Fig. 3(a)의 Type I 의 경우 ‘볼링(balling)’ 현상으로 용융된 분말이 표면장력으로 인하여 구형의 형태를 가진 상태에서 응고된 형태이다. 이러한 현상은 레이저의 에너지 밀도가 높은 범위에서 나타나며 에너지 밀도가 높을수록 분말의 용융 시 표면이 불안정 하기 때문에 볼링 현상이 두드러진다. Type I 의 볼링의 높이가 레이어 간격 이상으로 나타날 경우, 다음 적층을 위한 분말의 도포가 불가능하다. Fig. 3(b)

의 Type II는 매끄러운 표면형상을 가진 것으로 최적화된 용융조건이라는 것을 알 수 있다. 다음 적층을 위한 분말의 도포가 가능하여 Type II 범위에서만 다음 층의 균일한 적층 실험이 가능하다. Fig. 3(c)의 Type III는 분말을 용융시키기 위한 충분한 에너지가 공급되지 않았을 때 나타나는 현상으로 분말간의 결합이 미미하다. 이런 결합부족은 분말 도포 시에 분말 높이의 불균형을 발생시켜 적층을 어렵게 한다. 만약 적층되어 융착되더라도 용융부에 기공, 균열 등의 내부결함을 가지게 된다. Fig. 4는 20  $\mu\text{m}$  Fe-Cr 분말의 레이저 출력과 주사속도에 따른 표면형상의 범위를 보여준다. Fig. 5는 Type II의 매끄러운 표면의 형성을 위한 레이저 출력에 따른 입열량의 범위를 보여주는데 출력이 증가할수록 매끄러운 표면을 갖는 입열량의 범위는 넓게 형성되는 것을 알 수 있다.

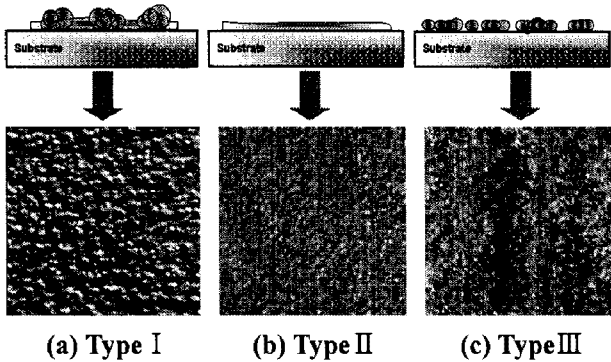


Fig. 3 Different types of surface patterns

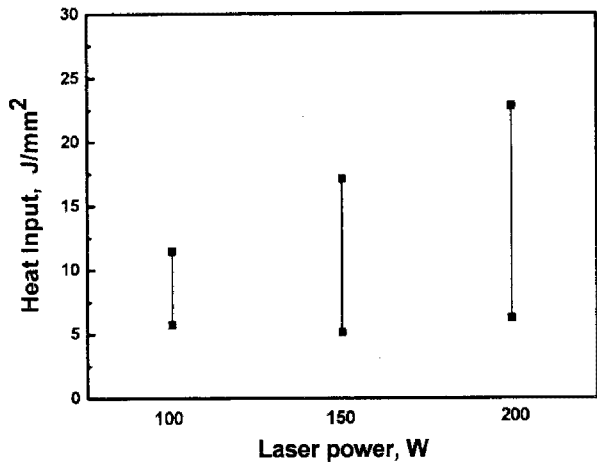


Fig. 5 Heat input for Type II according to laser power

### 3.2 다층 적층 실험

Fig. 6은 적층된 시편의 표면과 x, y 방향으로 측정된 표면조도의 평균값을 나타낸다. x 방향의 평균 표면 조도는 y 방향의 평균 표면 조도에 비해 약 2 배 정도 높게 나타났는데, 이는 마지막으로 레이저가 주사된 방향의 레이저 주사 간격(60  $\mu\text{m}$ )으로 인한 미세 골의 형성으로 인한 것으로 판단된다. Fig. 7은 표면으로부터 40  $\mu\text{m}$  지점에서 310  $\mu\text{m}$  까지 30  $\mu\text{m}$  간격으로 경도를 3 번 측정된 평균 경도값을 보여준다. Zone "a"는 적층부(melted powder zone)로 레이저에 의해 20  $\mu\text{m}$  Fe-Cr 분말이 용융되어 급속응고 되는 부분으로 평균경도 약 5GPa, 평균두께는 약 130  $\mu\text{m}$ 이며, Zone "b"는 재용융부(remelted zone)로 모재인 AISI H13 이 레이저에 의해 용융된 후 급속 응고되는 부분으로 평균 경도는 약 6GPa ~ 6.5GPa 범위를 가졌으며, 90  $\mu\text{m}$ 의 평균두께를 나타내었고, Zone "c"는 AISI H13의 모재부로 평균 경도는 약 2GPa로 나타났다. 재용융부의 경우 모재와의 경계에서부터 경도가 점점 감소하는 경향을 나타내는데 이는 적층 시 재가열로 인한 템퍼링 효과로 인한 것으로 판단된다. 그리고 적층부에서 모재부에 이르기까지 경도 분포가 경향성을 보임을 알 수 있는데 이를 통해 적층부에서 모재부에 이르기까지 결합의 양호함을 확인 할 수 있었다.

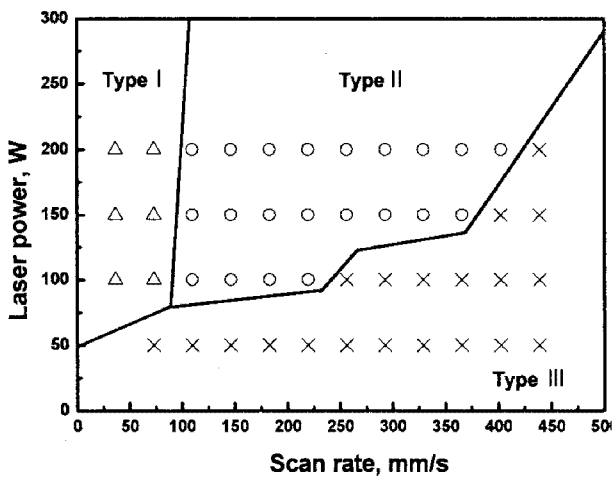
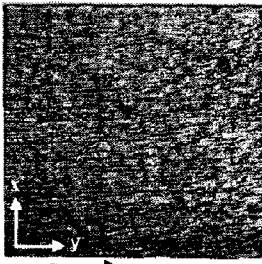


Fig. 4 Process window of 20  $\mu\text{m}$  Fe-Cr powder for various laser parameters



Direction	Mean( $\mu\text{m}$ )
x	3.70
y	1.53

Fig. 6 Surface of specimen and average surface roughness

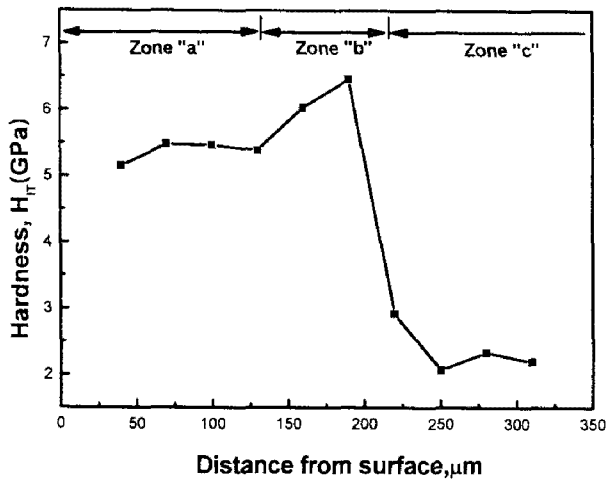


Fig. 7 Hardness distribution of specimen

#### 4. 결론

(1) 단층 적층 실험을 통하여 20  $\mu\text{m}$  Fe-Cr 분말의 레이저 출력과 주사 속도에 따른 3 가지 표면 패턴 (Type I: balling 과 거친 표면, Type II: 매끄러운 표면, Type III: 결합부족 표면)의 범위에 대해 알 수 있었고, 매끄러운 표면을 형성하는 레이저 출력에 따른 입열량의 범위는 다르며, 출력이 증가할수록 매끄러운 표면을 형성하는 입열량의 범위는 넓어졌다.

(2) 레이저가 주사된 방향에 수직인 방향으로 측정된 평균 표면 조도는 약 3.70  $\mu\text{m}$ , 레이저가 주사된 방향에 평행한 방향으로 측정된 평균 표면 조도는 약 1.53  $\mu\text{m}$ 를 형성하였다.

(3) 적층부의 평균 두께는 약 130  $\mu\text{m}$ , 재용융부의 평균 두께는 약 90  $\mu\text{m}$ 이며 적층부와 재용융부의 경도는 각각 약 5GPa대에서 약 6.5GPa대까지 다

양하게 나타났고, 모재부의 경도 약 2GPa 보다 약 2 배 이상 높게 나타났다. 또한 적층부에서 모재부에 이르기까지의 경도 분포의 경향성을 통해 적층부, 재용융부 모재부 간의 결합의 양호성을 확인 할 수 있었다.

#### 후 기

이 논문은 2007년도 정부재원(교육인적자원부 학술연구조성사업비)으로 한국학술진흥재단(KRF-2007-521-d00206)의 일부 지원과 교육과학기술부/한국과학재단 국가핵심 연구센터사업의 일부 지원으로 수행되었습니다.

#### 참 고 문 헌

- [1] N. K. Tolochko, M. K. Arshinov, A. V. Gusarov, V. I. Titov, T. Laoui and L. Froyen, 2003, Mechanisms of selective laser sintering and heat transfer in Ti powder, Rapid Prototyping Journal, Vol. 9, pp. 314~326.
- [2] K. Maeda, T. H. C. Childs, 2004, Laser sintering (SLS) of hard metal powders for abrasion resistant coatings, Journal of Materials Processing Technology, Vol. 149, pp. 609~615.
- [3] Y. Ning, Y. S. Wong, J. Y. H. Fuh, H. T. Loh, 2006, An approach to minimize building errors in direct metal laser sintering, Ieee Transactions on Automations Science and Engineering, Vol. 3, pp. 73~80.
- [4] M. Vedani, B. Previtali, G. M. Vimercati, A. Sanvito and G. Somaschini, 2007, Problems in laser repair-welding a surface-treated tool steel, Surface & Coatings Technology, Vol. 201, pp. 4518~4525.
- [5] H. J. Shin, Y. T Yoo, D. G. Ahn and B. H. Shin, 2006, The surface heat treatment of die steel SKD61 using CW Nd:YAG laser, proceeding of KSME 2006 Spring Annual Meeting, pp. 3080~3085.
- [6] B. C. Jeon, J. D. Kim, 1998, Selective laser sintering by CO<sub>2</sub> laser, Journal of the Korean Society of Precision Engineering, Vol. 15, pp. 18~25.