

텅스텐 카바이드와 코발트 혼합물의 선택적 레이저 소결

김광희* · 조셉 비만**

*부경대학교 기계공학부

**텍사스대학교 기계공학과

Selective Laser Sintering of WC-Co Mixture

KWANG-HEUI KIM* AND JOSEPH J. BEAMAN**

*School of Mechanical Engineering, Pukyong National University, Pusan 608-739, Korea

**Mechanical Engineering Department, University of Texas at Austin, Austin, Tx 78712-1063, USA

KEY WORDS: Selective laser sintering 선택적 레이저 소결, Tungsten carbide 텅스텐 카바이드, Cobalt 코발트

ABSTRACT: This paper describes the experimental results on direct selective laser sintering of WC-Co mixture. The experiments were carried out within an air, argon and nitrogen atmosphere. The main problem occurred during sintering within an air atmosphere was oxidation of WC-Co mixture. As the power of laser is increased and scanning speed is decreased, more severe oxidation takes place. Within an argon and nitrogen atmosphere the oxidation is reduced significantly. As the energy density is increased, the thickness of the sintered layer is increased.

1. 서 론

쾌속 조형(Rapid Prototyping) 기술은 사람의 개입이 거의 없이 캐드 모델(CAD model)로부터 직접 정밀한 부품을 수시간 내에 생산 할 수 있는 기술이다. 이 기술은 금형 등의 공구를 사용하지 않고 종이, 고분자(polymer), 금속 및 세라믹 소재를 이용하여 원하는 형상의 시제품을 생산한다. 현재 상업적으로 널리 사용되고 있는 쾌속 조형 공정 중의 하나는 선택적 레이저 소결(Selective Laser Sintering) 공정이다. 이 공정은 레이저를 이용하여 부분적으로 분말을 소결 또는 용융하여 제품을 제작하는 공정이다(Pham *et al.*, 1998).

현재 산업체에서는 제품의 개발 기간 및 비용을 절감하기 위하여 2차 공정을 거치지 않고 금속 금형을 직접 제작하는 쾌속 금형 제작(Rapid Tooling) 기술의 개발이 요구되고 있다. 쾌속 금형 제작 방법 중의 하나는 금속 분말을 용융하는 방법인데, 이 방법은 다시 금속 분말을 직접 용융시키는 직접식과 금속과 바인더(binder)가 혼합된 소재로 먼저 형상을 제작한 후 후처리를 통해 바인더를 제거하고 청동 등을 침투시켜 강도를 향상시키는 간접식으로 나눌 수 있다. 간접식에서는 저온에서 녹는 금속만 침투시킬 수 있으므로 고강도의 제품을 얻을 수 없는 단점이 있으므로 강도가 높은 금형을 제작하기 위하여 직접식(Das *et al.*, 1998; Hauser *et al.*, 1999)에 대한 여러 연구가 수행되었으나 아직도 많은 추가적인 연구가 필요한 실정이다.

텅스텐 카바이드는 경도가 매우 높은 장점이 있어서 드릴(drill) 등의 절삭 공구와 금형의 인서트(insert) 등으로 많이 사용되고 있으나 취성(brittleness)이 강한 단점으로 사용에 제한을

받고 있다. 그러나 바인더 역할을 하면서 인성(toughness)을 부여할 수 있는 코발트(cobalt)와 혼합하여 최근 많은 관심을 받고 있는 조성이 점차로 변하는 소재(Functionally Gradient Material; Jepson *et al.*, 2000)로 제작될 경우 석유 산업에서 사용되는 드릴 비트(drill bit) 및 금형 등의 성능 향상에 획기적인 기여를 할 수 있을 것으로 기대된다.

본 연구에서는 조성이 점차로 변하는 소재를 제작하기 위한 전 단계로 일정한 성분비를 가진 텅스텐 카바이드와 코발트 혼합물(WC-Co mixture)의 선택적 레이저 소결을 위한 최적의 조건들을 찾기 위하여, 공기, 아르곤(argon) 및 질소 분위기에서 레이저 소결 실험을 수행하였다.

2. 실험방법

2.1 실험 장치

본 실험에서는 최대 출력이 500와트(W)이고 파장(wave length)이 10.6 μ m 인 CO₂ 레이저 장치(Coherent Everlase 525)를 사용하였으며 초점 직경(spot diameter)은 0.6mm가 되도록 하였다. Fig. 1은 실험 장치의 전체적인 모습으로 오른쪽에 레이저 발생장치, 왼쪽에 소결 작업이 실시되는 방, 그리고 가운데 부분에 컴퓨터 및 제어 장치를 보여주고 있다. Fig. 2는 소결 작업이 실시되는 알루미늄 판으로 제작된 방(chamber)의 모습이다. 아르곤 및 질소 분위기를 만들기 위하여 Fig. 3과 같은 아르곤 및 질소 유리로 만든 차폐 상자(shielding box)를 이용하였다. 염화나트륨 창을 통하여 레이저가 주사되고 위쪽의 호스를 통하여 아르곤이나 질소 가스가 공급되어 상자의 바닥 쪽으로 빠져나가도록 하였다.



Fig. 1 Selective laser sintering equipment

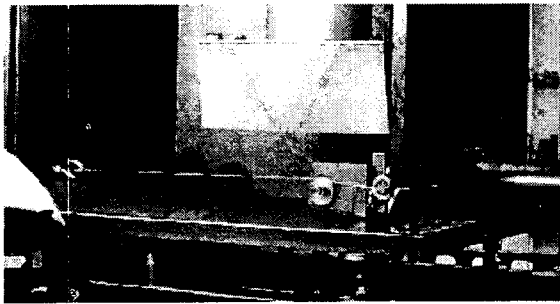


Fig. 2 Selective laser sintering chamber

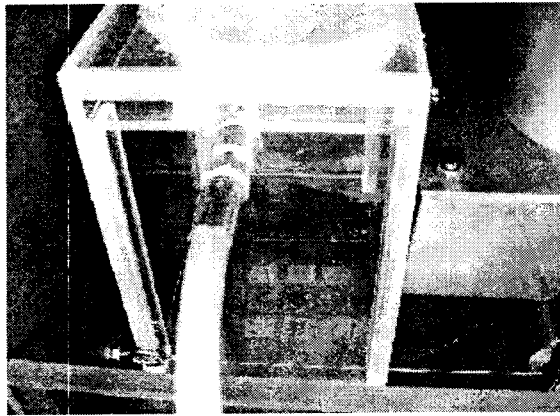


Fig. 3 Shielding box

2.2 실험 재료

본 실험에 사용된 텅스텐 카바이드와 코발트 혼합물은 텅스텐 카바이드 입자의 표면에 코발트가 코팅된 형태이며 코발트가 전체 체적의 16%를 차지한다. 이 혼합물이 보관 중이나 소결 공정 중에 산화되는 것을 막기 위해 다시 표면을 왁스(wax)로 코팅하였다.

실험에 사용된 아르곤 가스와 질소 가스는 소결 중의 산화를 최소화 하기 위하여 각각 3.9%와 4.1%의 수소를 포함하도

록 하였다.

2.3 실험 방법

텅스텐 카바이드와 코발트 혼합물을 공기, 아르곤 및 질소 분위기에서 레이저의 출력, 주사 속도(scanning speed) 및 주사 선사이의 거리(scan spacing)를 달리하면서 각각 단층(single layer)을 소결 하였다. Table 1은 소결 조건을 나타내고 있다. 레이저 출력은 출력 측정기(power meter)를 이용하여 측정하였으며 측정기의 용량이 150W인 관계로 그 범위를 넘는 값은 레이저 발생 장치의 전류를 대신 측정하고 환산한 추정치를 괄호 안에 표시하였다. 주사 속도는 공정 시간을 직접 측정하여 계산하였다. 레이저 빔의 직경 및 측정된 소결된 시편의 폭으로부터 주사선사이의 거리를 계산하였다.

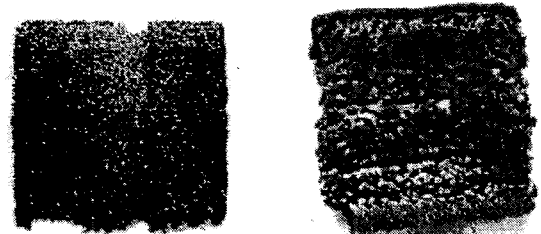
Table 1 Experimental conditions

Atmospheric condition	Laser Power(W)	Scanning speed(mm/s)	Scan Spacing (% of beam diameter)
Air	82, 125, (173), (220), (312), (404)	0.58, 1.16, 2.32, 22.98, 44.69	59.4, 118.8, 178.2
		0.58, 1.16, 1.74, 2.32, 3.47, 4.62, 6.92, 11.52, 22.98, 44.69, 65.61, 83.81, 100.04	7.4, 20, 59.4
Argon	70, 104, (220)	6.92, 11.52, 22.98, 44.69, 65.61, 83.81, 100.04	7.4, 20, 59.4
Nitrogen	104	1.74, 2.32, 3.47, 4.62, 6.92, 11.52, 22.98	59.4

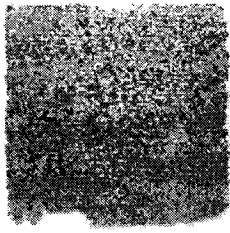
3. 실험결과 및 고찰

3.1 공기 중에서의 소결

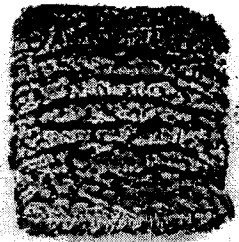
Fig. 4는 공기 중에서 소결된 시편의 모습이다. 레이저의 출력이 증가할수록 또는 레이저의 주사 속도가 감소할수록 산화가 더욱 심하게 발생하였다. 소결된 시편은 매우 쉽게 부서러졌고 밀도도 매우 낮아서 제품을 만들기에는 부적절한 것으로 보인다. 산화 방지를 목적으로 코팅된 왁스는 큰 도움이 되지 못하였고 심한 그을음이 발생하는 경우도 있었다.



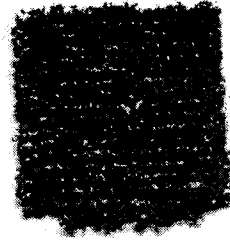
(a) 82W, 22.98mm/s, 59.4% (b) 82W, 1.16mm/s, 59.4%



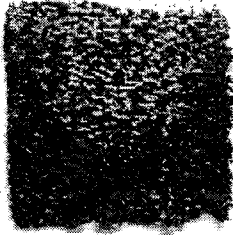
(c) 125W, 22.98mm/s, 59.4%



(d) 125W, 2.32mm/s, 59.4%



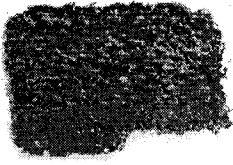
(m) (173W), 22.98mm/s, 178.2%



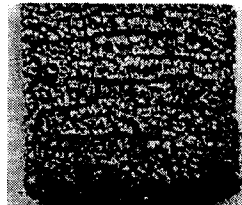
(e) (220W), 22.98mm/s, 59.4%



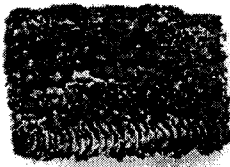
(f) (312W), 22.98mm/s, 59.4%



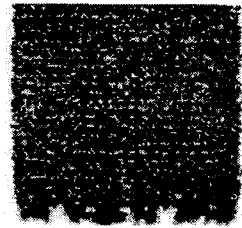
(g) (404W), 22.98mm/s, 59.4%



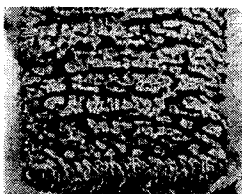
(h) 82W, 1.16mm/s, 118.8%



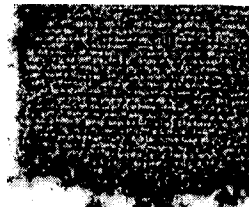
(i) 82W, 0.58mm/s, 118.8%



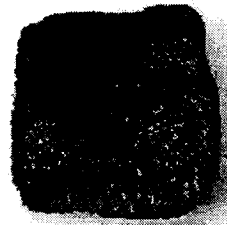
(j) 125W, 22.98mm/s, 118.8%



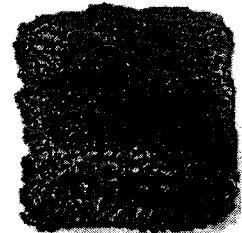
(k) 125W, 1.16mm/s, 118.8%



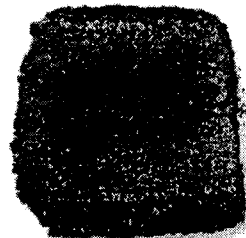
(l) (312W), 44.69mm/s, 118.8%



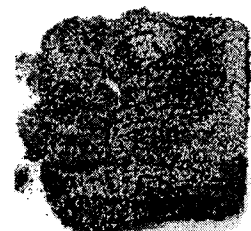
(a) 70W, 0.58mm/s, 59.4%



(b) 70W, 1.16mm/s, 59.4%



(c) 70W, 1.74mm/s, 59.4%



(d) 70W, 2.32mm/s, 59.4%

Fig. 4 Samples sintered within an air at various powers, scanning speeds and scan spacings

3.2 아르곤 분위기에서의 소결

Fig. 5는 아르곤 분위기에서 소결된 시편의 모습이다. Fig.4와 비교해 보면 산화가 급격히 감소했음을 알 수 있다. 본 연구에서 사용된 차폐 상자는 가스 소모량이 매우 많아서 가스를 절약하기 위해 가스 공급 유량을 줄이면 산화가 발생하는 것이 관찰되었다. 산화는 급격히 감소하였음에도 불구하고 소결된 시편의 밀도는 매우 낮았고 강도도 매우 약해서 매우 쉽게 부서져서 역시 제품을 만들기에는 부적절한 것으로 보인다. 따라서 더욱 밀도가 높고 강도도 높게 소결될 수 있는 조건을 찾기 위한 추가적인 실험이 필요하다.

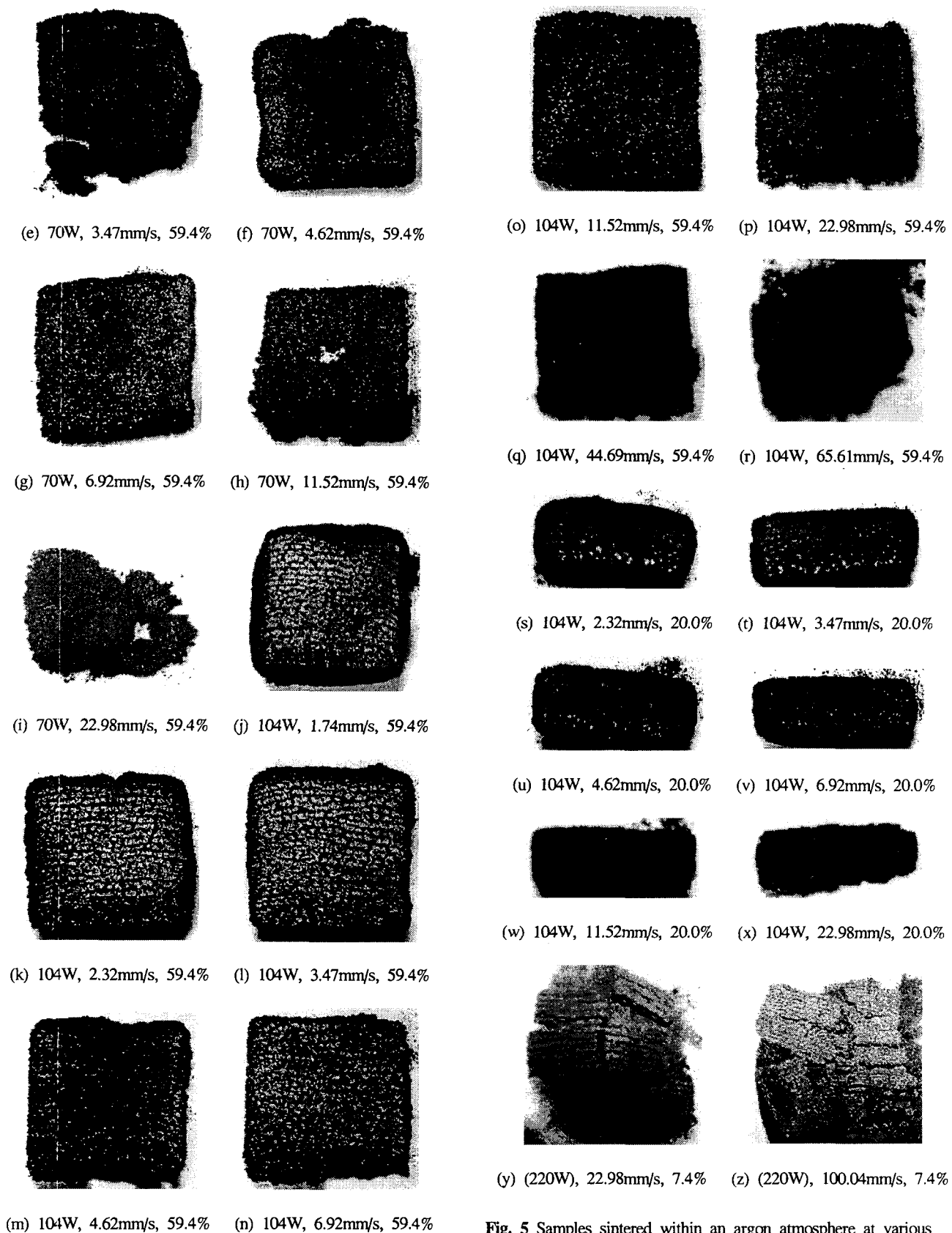
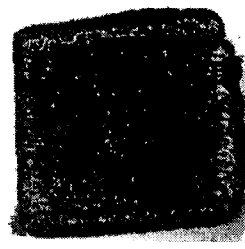


Fig. 5 Samples sintered within an argon atmosphere at various powers, scanning speeds and scan spacings

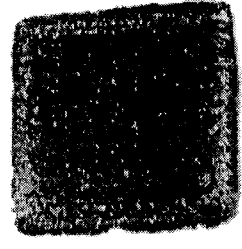
3.3 질소 분위기에서의 소결

Fig. 6은 질소 분위기에서 소결된 시편의 모습으로, 아르곤 분위기에서의 소결 결과와 거의 비슷하였다. Fig. 7은 아르곤 및 질소 분위기에서 레이저의 에너지 밀도 및 주사선사이의 거리의 변화에 따른 소결 층의 두께이다. 단위 면적당 가해지는 에너지의 양 즉 에너지 밀도가 증가할수록 더욱 두껍게 소결되는 경향이 있음을 알 수 있다. 또 동일한 에너지 밀도에 대하여 주사선사이의 간격이 좁을수록 역시 두껍게 소결되는 것을 알 수 있다. 동일한 에너지 밀도를 얻는 방법으로 레이저 출력을 증가시키는 방법과 주사속도를 낮추는 방법이 있는데, 주사 속도를 낮추는 방법은 공정시간이 길어지고 주사되는 주위로 열의 전달이 발생할 수 있는 시간이 길어지므로 주위로 많은 열을 빼앗겨서 효율이 저하되는 것을 이 그림으로부터 추정할 수 있다. 따라서 공정시간이 짧아지고 국부적으로 고온으로 가열할 수 있는 장점이 있는 레이저 출력을 증가시켜 에너지 밀도를 높이는 방법을 이용하는 것이 유리할 것으로 보인다.

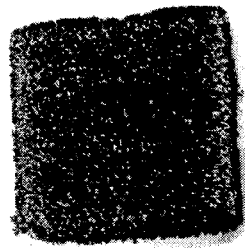
본 연구에 사용된 차폐 상자에 쓰인 염화나트륨 유리는 통과되는 레이저의 10% 정도의 에너지를 흡수하였다. 따라서 큰 열팽창이 발생하여 출력을 200W 정도로 증가시키자 균열이 발생하여 사용하지 못하게 되었다. 최소 출력이 300W이상인 고출력 레이저 장치에서의 예비실험에 의하면 레이저가 주사된 부분이 소결되지 않고 날아가 버리고 파인 자국만 남았다. 이는 너무 과도한 에너지가 급격히 공급된 결과로 분말에 포함된 수분 등이 폭발적으로 기화되는 현상에 의한 것으로 판단된다. 따라서 출력이 높은 장치에서의 추가 실험에서는 수분이나 왁스 등의 불순물이 분말에 포함되지 않도록 하여야 할 것으로 보인다. 한가지 방법으로 분말을 예열하는 방법이 있으나 장치 제작에 많은 문제점이 있다. 또 소결된 층의 두께가 너무 두꺼우면 정밀한 제품의 제작이 어렵게 되므로 적절한 두께로 소결되도록 하기 위해서는 출력을 높일수록 주사 속도도 상응하게 높여야 것으로 보인다.



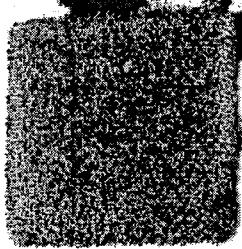
(c) 104W, 3.47mm/s, 59.4%



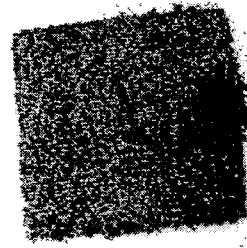
(d) 104W, 4.62mm/s, 59.4%



(e) 104W, 6.92mm/s, 59.4%

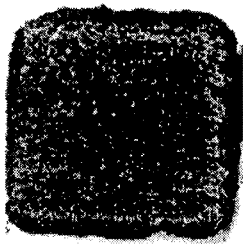


(f) 104W, 11.52mm/s, 59.4%

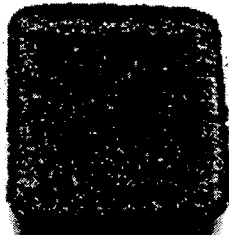


(g) 104W, 22.98mm/s, 59.4%

Fig. 6 Samples sintered within a nitrogen atmosphere at various powers, scanning speeds and scan spacings



(a) 104W, 1.74mm/s, 59.4%



(b) 104W, 2.32mm/s, 59.4%

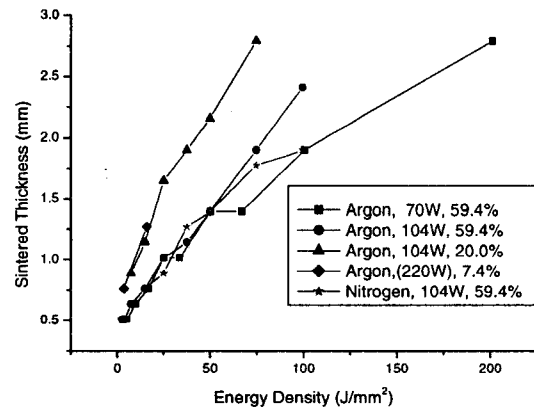


Fig. 7 Thickness of sintered layer within an argon and nitrogen atmosphere at various energy densities and scan spacings

4. 결 론

본 연구에서 얻어진 결과는 다음과 같다.

- (1) 공기 중에서는 소결 중에 산화가 심하게 발생하기 때문에 만족스러운 소결층을 얻기 위한 조건을 찾을 수 없었다.
- (2) 아르곤 및 질소 분위기에서는 산화가 급격히 줄어들었으나, 가스를 절약하기 위하여 가스 공급 유량을 줄이면 산화가 발생하는 것이 관찰되었다.
- (3) 아르곤 및 질소 분위기에서 소결된 시편의 밀도는 매우 낮고 매우 쉽게 부스러졌다.
- (4) 모든 분위기에서 레이저의 출력이 증가할수록 또는 레이저의 주사 속도가 감소할수록 즉 에너지 밀도가 높아질수록 더 두껍게 소결되었다.
- (5) 따라서 밀도가 높고 강도가 충분한 소결물을 얻기 위해서는 산소가 완전히 제거된 진공 중에서 추가적인 실험을 실시하여야 할 것으로 판단된다.

후 기

본 연구는 2000학년도 2학기 부경대학교 연구년 사업에 의하여 지원 되었음.

참 고 문 헌

- Pham, D.T. and Gault, R.S.(1998). "A Comparison of rapid prototyping technologies", *Int. J. of Machine Tool & Manufacture*, 38, pp 1257~1287.
- Das, S., Beaman, J.J., Wohler, M. and Bourell, D.L.(1998). "Direct Laser Freeform Fabrication of High Performance Metal Components", *Rapid Prototyping Journal*, 4, pp 112~117.
- Huaser, C., Childs, T.H.C., Dalgarno, K.W. and Eane, R.B.(1999). "Atmospheric Control during Direct Selective Laser Sintering of Stainless Steel 314S powder", *Solid Freeform Fabrication Symposium, University of Texas at Austin*, pp 265~272.
- Huaser, C., Childs, T.H.C. and Dalgarno, K.W.(1999). "Selective Laser Sintering of Stainless Steel 314S HC Processed using Root Temperature Powder Beds", *Solid Freeform Fabrication Symposium, University of Texas at Austin*, pp 273~280.
- Jepson, L.R., Beaman, J.J., Bourell, D.L., Jackson, B., McAdams, D., Perez, J. and Wood, K.L.(2000). "Multi-Material Selective Laser Sintering: Empirical Studies and Hardware Development", *2000 NSF Design & Manufacturing Research Conference*.