

통기성 금형의 쾌속제작에 관한 연구

김경래*, 정성일*, 정해도**, 이석우***, 최현종***, 박영진****, 박장식*****

A Study of Rapid Tooling of Porous Metal Mold

Kyung Lae Kim*, Sung Il Chung*, Hae Do Jeong**, Seok Woo Lee***, Hon Zong Choi****, Young Jin Park****, Jang Sik Park*****

ABSTRACT

Removal of gas in a mold has been a big problem in pressing mold or in injection mold. Air vent has been used to solve the problem, but it has weak points such as the increased cost, the increased number of process, and vent marks on the surface of a product. In this study, the sintering method and rapid tooling method are used for making porous metal mold. Porous metal mold has many open pores, which are very small. When porous metal mold is used for pressing mold or injection mold, all process would be made short, produce cost would be down, and vent marks would be not leaved on the surface of a product.

Characteristic of porous material varies from sintering conditions, which are the length of sintering time, sintering temperature and sintering atmosphere etc. This study will find optimized sintering condition for the porous metal mold.

Key Words : Air Vent(공기구멍), Sintering Method(분말야금 법), Porous Metal Mold(통기성금형), Rapid Tooling(쾌속금형제작기술)

1. 서론

금형을 사용하는 것은 하나의 금형으로 다수의 동일한 성형체가 얻어진다는 것을 의미하고, 대량 생산에는 그 위력을 충분히 발휘하고 있다. 이러한 의미에서, 석유 위기 이후부터 시작된 다품종 소량 생산의 시대는 절삭가공과 같이 NC 공작기계를 사용하여 용이하게 FMS화를 도모할 수 없는 주조, 단조, 판금 프레스, 분말야금 등의 소형재 가공이나 플라스틱, 고무, 세라믹, 유리 등의 비금속재의 성

형가공에서 금형은 공구로서 중요한 역할을 하고 있다. 금형을 사용하는 소형재 가공에서는 대단히 엄격한 시대가 왔다고 할 수 있다. 즉, 하나의 모델 생산이 감소되면 고가의 금형은 생각할 수 없고, 제품 가격이 차지하는 금형비의 비율은 증대하며, 다른 가공방법에 비하여 경쟁력이 저하된다. 또한 금형은 일반적으로 개발, 설계, 가공을 포함하여 그 제작에 상당한 장시간을 필요로 하지만, 다품종 소량생산은 동시에 제품의 라이프 사이클을 단축시키며, 모델교환이 빈번하고, 제품 개발기간의 단축 때

*** 2002년 8월 23일 접수
* 부산대 대학원 정밀기계공학과
** 부산대 정밀정형 및 금형가공 연구소
*** 한국생산기술연구원
**** 영남소결금속
***** (주)기은캐스팅

문에 단납기 금형에 대한 요구로 나타난다. 현재 기술혁신에 동반하는 신제품의 급격한 개발과 요구의 다양화를 생각하면 다품종 소량생산의 시대는 상당히 장시간 지속될 것으로 기대된다^[1]. 현재까지 금형 및 정밀부품의 제작은 거의 절삭에 의존해 왔는데, 이러한 절삭 공정은 높은 치수 정밀도를 얻을 수 있는 반면에, 가공 시간 및 비용 문제 때문에 정밀부품 및 금형의 시작품 제작에 있어서 절삭을 대체할 수 있는 공정에 관한 연구가 활발히 이루어지고 있다^[2]. 이러한 관점에서 발달한 기술들 중에서 쾌속조형기술(Rapid prototyping)을 이용한 쾌속금형제작기술(Rapid tooling)이 있다.

본 논문에서는 쾌속금형제작기술과 분말야금 기술을 도입하여, 통기성 금형을 제작하고자 한다. 현재 사용되고 있는 많은 주조용 금형, 가압프레스용 금형, 사출금형 등에서 공통적으로 문제화되고 있는 것이 금형 내의 공기나 유해 가스(Gas)들이다. 이러한 내부 공기가 적절히 빠져 주지 않는다면 제품 표면에 결함이 발생하게 되고 결과적으로 제품 질을 떨어뜨리게 된다. 따라서 내부 공기 제거를 위해 금형 제작시 슈퍼드릴(Super drill)이나 와이어 커팅(Wire cutting) 등으로 에어벤트(Air vent)를 금형에 직접 뚫거나, 플러그 형태의 에어벤트를 끼우고 있다. 하지만, 이런 에어벤트의 수는 금형 하나당 적게는 수 십 개에서 많게는 수 백 개에 이른다. 이로 인해 금형 단가나 납기가 늘어나는 것은 당연한 결과로 나타난다. 반면, 통기성 금형이란 금형 내부에 아주 미세하면서 무수히 많은 기공을 내포하고 있어 따로 에어벤트를 만들지 않아도 내부 공기를 원활히 배출시킴으로써 양질의 제품을 생산할 수 있는 금형을 말한다. 이러한 통기성 금형을 쾌속금형제작기술을 통해 보다 빠르고, 보다 값싸게 제작하고자 한다.

2. 세라믹 형 제작

쾌속금형제작기술은 크게 soft tooling과 hard tooling으로 나눌 수 있다^[3]. Soft tooling이란 플라스틱이나 고무와 같은 소재를 이용하여 간이형을 제작하는 기술로서 소량의 제품을 쾌속으로 제작하기 위해 사용되어진다^[4]. 그에 반해서 hard tooling이란 플라스틱이 아닌 금속 소재를 이용하여 시작 금형이 아닌 양산 금형을 제작하기 위한 기술로서 최근에 주조 기술의 접목에 관한 연구가 활발히 이

루어지고 있다^[5]. 본 논문에서는 분말성형을 위해 금형 대신 soft tooling을 적용하여 간이 세라믹 형을 제작하였다.

본 논문에서 간이 세라믹 형을 제작하기 위해 사용된 공정은 슬러리 캐스팅(Slurry casting)이다^[6].

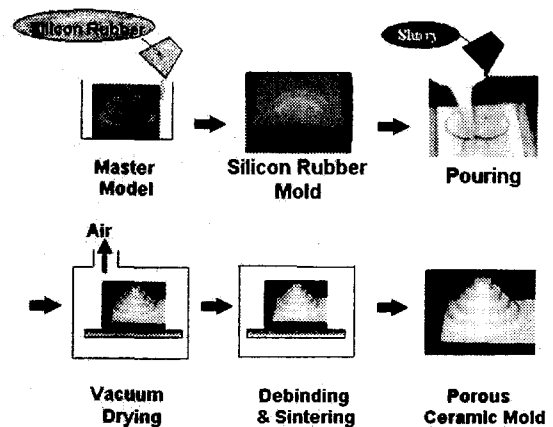


Fig. 1 Process of slurry casting

Fig. 1에서 보는 바와 같이, 슬러리 캐스팅은 세라믹 분말과 유기바인더를 혼합하여 만든 슬러리를 간이형에 흘려 넣은 후, 건조, 탈지, 소결의 과정을 거쳐 제품을 얻는 공정이다. 슬러리 캐스팅은 분말이 아닌 슬러리를 이용하여 캐스팅을 하기 때문에 표현 가능한 형상의 제한이 적고, 일반적인 세라믹의 가공에 비해서 공정과 비용을 줄일 수 있다는 장점이 있다.

2.1 슬러리제작

본 논문에서 세라믹형을 제작하기 위해 사용된 분말은 알루미나 분말로서 입경 46um과 4.5um의 분말을 혼합하여 사용하였다. 두 가지 입경의 분말을 혼합할 경우 동일한 크기의 분말을 사용했을 때보다 치수 안정성이 더 양호하다^[7]. 분말의 유동성을 위해 수용성 바인더의 수용액을 사용하였다. 슬러리 제작시 가장 주의해야 할 사항은 이 바인더의 수용액과 분말을 혼합할 때 수용액의 양을 적절히 조정하는 것이다. 만약 수용액의 함량이 높으면 슬러리의 유동성이 높아져서 균일한 혼합 및 전사성에 유리하게 되지만, 탈지 및 소결 시 균열의 발생 및 치수 정밀도가 떨어지므로 최적의 비를 산출해 내야만 한다^[7].

2.2 실리콘 고무형 제작

슬러리가 준비되면 실리콘 고무형을 제작한다. 실리콘 고무형은 탄성이 좋기 때문에 세라믹형 제작시 이형작업에 유리하고, 전사성이 우수하여 마스터 모델을 복제하는데 널리 쓰이고 있다.

먼저 주재와 경화재를 10:1의 비율로 혼합한 후 잘 섞는다. 혼합된 재료를 진공주형기에 넣고 1차 탈포공정을 거친다. 탈포과정이 끝나면 재료를 마스터 모델이 놓여진 형틀에 부은 후 다시 2차 탈포공정을 거친다. 탈포과정이 모두 끝나면 적당한 온도가 유지된 오븐에 일정시간 보관하여 경화를 시킨다. 실리콘 고무가 완전히 경화되면 형틀과 마스터 모델을 제거하여 실리콘 고무형을 완성한다.

2.3 세라믹 형 성형

실리콘 고무형이 완성되면 먼저 준비했던 슬러리를 실리콘 고무형에 채워 성형을 한다. 슬러리를 실리콘 고무형에 주입한 후 가벼운 진동으로 내부에 잔존하는 큰 기포들을 제거한다. 이 때 기포를 충분히 제거하지 않으면 내부 혹은 표면에 큰 기포가 남아 세라믹형의 결함으로 남게 되어, 결과적으로 소결 제품의 품질에 영향을 주게 되므로 가능한 큰 기포가 남지 않게 주의해야 한다.

2.4 경화 및 건조

실리콘 고무형에 주입된 슬러리는 이형작업을 위해 경화과정을 거쳐야 한다. 경화온도는 실리콘 고무형의 경화온도와 일치시킨다. 그 이유는 이 온도에서 실리콘 고무형의 치수가 마스터 모델의 치수와 정확히 일치하기 때문이다. 슬러리가 충분히 경화되면 실리콘 고무형에서 분리하여 100℃온도에 맞춰진 진공 건조로에서 건조시킨다. 경화과정에서 일부 수분이 제거되긴 하지만 대부분의 수분이 세라믹형 내부에 남아있게 되므로 진공건조를 통해 내부 수분을 완전히 건조시킨다.

2.5 탈지 및 성형

건조가 끝난 세라믹형은 형의 강도 강화를 위해 소성과정을 거쳐야 한다. 소성과정은 형의 강도와 치수를 결정할 뿐만 아니라, 적당한 조건을 유지하지 못하면 형에 크랙(Crack)이 발생하게 되므로 상당한 주의를 필요로 하는 과정이다. 탈지공정이란 슬러리에 분말을 분산시키기 위해 사용된 바인더를 제거하는 공정으로서, 세라믹형의 제작에

있어서 가장 까다롭고, 또한 시간이 가장 많이 소요되는 공정이다. 탈지공정의 종류에는 크게 열에 의해 바인더를 제거하는 방법과 용매에 의해 바인더를 선택적으로 제거하는 방법이 있는데 정밀한 세라믹 제품을 제작할 때에는 이 두 가지 종류의 바인더를 함께 사용하기도 한다^[8]. 그러나 두 가지 바인더를 모두 쓰게 되면 탈지과정이 복잡해지므로 본 과제에서는 제작공정을 간편하게 하기 위해 일반 공기 분위기에서 열에 의해 바인더를 태워서 제거하는 방법으로 탈지를 행하였다. 열에 의한 탈지 과정에서 급격히 온도를 상승시키게 되면 성형체의 표면에 변형이나, 균열이 발생하게 되므로 충분한 시간을 두어 천천히 온도를 상승시켜야 한다. 탈지공정이 이루어지면, 다음으로 소결공정을 거쳐, 간이형으로서의 강도를 가지도록 해야만 한다. 탈지 과정을 마친 후, 분말이 단순히 접합한 상태에서는 표면에너지의 총계는 최소가 아니고, 열역학적으로 비평형 상태에 있다. 가열 처리를 하면, 표면 에너지를 감소시키려고 하는 방향, 다시 말해 표면적이 감소하는 방향으로 물질의 이동이 일어나고 입자끼리의 결합이 일어난다^[9].

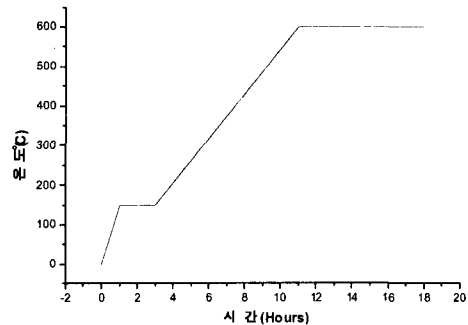


Fig. 2 Sintering condition of ceramic mold

Fig. 2에 세라믹 형 소결에서의 시간에 따른 소결온도 조건의 변화를 나타내었다. 수분과 바인더의 급격한 증발로 인한 크랙을 방지하면서 세라믹형 내부의 수분과 바인더가 충분히 빠져나갈 수 있도록 하기 위해서 150℃부근에서 약 2 시간 가량 유지시켰다. 소결과정은 약 600℃에서 7 시간 동안 일정한 온도 하에 이루어졌으며 온도 상승속도는 약 56.25℃/h 이다.

소결은 세라믹 제품의 품질을 결정하는 중요한 공정이지만, 본 연구에서는 소결에 의한 고강도의

제품을 얻으려는 것이 아니라, 분말성형을 위한 간이형의 제작이 목적이므로 일반적인 세라믹 제품에서와 같은 고온의 소결은 필요치 않다. 지나친 강도는 소결이 끝난 후 제품으로부터 간이형을 분리하는데 방해가 될 뿐만 아니라, 고온 소결은 밀도의 증가와 동반하여 수축을 발생시키게 되므로, 본 연구에서는 탈지공정과 연속하여 거의 유사한 온도에서 고상 소결을 행하여 분말성형을 행할 수 있는 최소한의 강도만을 확보할 수 있도록 하였다.

3. 통기성 금형 제작

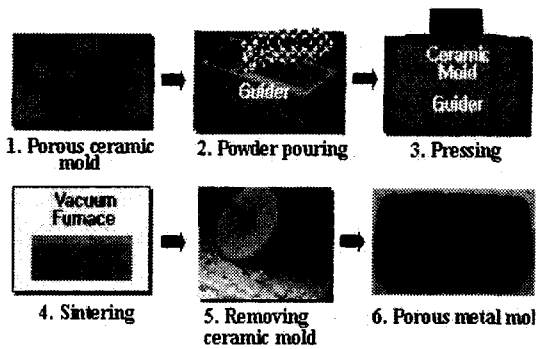


Fig. 3 Process of porous shoe metal mold

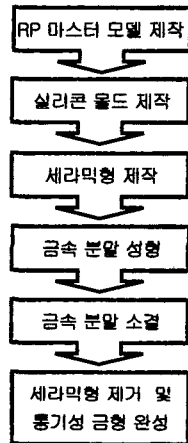


Fig. 4 Flow chart of porous metal mold process

본 논문에서는 통기성 금형 제품을 쾌속제작하기 위해 쾌속금형제작기술과 함께, 분말야금 기술이 도입되었다. 분말야금 법을 도입하게 된 가장 큰 이유는 다공질 재료의 제작이 가능하기 때문이

다. 다공질 재료 제작은 분말야금 법의 특유의 것으로서 분말입도, 가압력, 소결온도, 소결시간 등을 적당히 선정하던가, 용점이 낮은 금속분 또는 저온에서 증발비산하는 유기물분을 미리 소량 혼합함으로써 균일한 다공질재가 얻어지며 다공도를 적당히 조절할 수가 있다^[10]. 따라서 쾌속금형제작기술로 제작된 세라믹형을 사용하여 분말을 성형한 후 분말을 소결함으로써 통기성 금형 제작이 가능한 것이다. Fig. 3, Fig. 4에 통기성 금형 제작공정과 통기성 금형 제작공정의 Flow chart를 나타내었다.

본 논문에서 사용한 분말은 Sn이 10% 함유된 청동분말이다. 청동분말은 소결온도가 낮아 소결이 쉽고 열전도도가 좋으며, 순동에 비해 기계적 강도가 뛰어나다. 형상은 구형이며 입도와 화학적 성분 분포 등을 Table 1에 나타내었다.

Table 1 Character of bronze powder

		unit	value	lower limit	upper limit
입 도	>125 μ m	%	7.3	-	10.0
	>90 μ m	%	85.9	75.0	-
	<90 μ m	%	6.8	-	15.0
겉보기 밀도		g/cm ³	4.95	4.80	-
화학적 성분	Sn	%	10.8	10.0	11.5
	P	%	0.38	0.27	0.43

3.1 가이드(Guidner) 제작

가이드(Guidner)는 성형 시 파우더의 외곽 형상을 잡아주기 위한 것이다. 가이드 역시 세라믹 형으로 제작이 가능하나 세라믹 형의 강도가 약하여 반복 사용이 불가능하다. 따라서 시편 제작 시 가이드를 매 번 제작해야 하는 부담이 생기므로 본 논문에서는 카본(Carbon)을 절삭 가공하여 가이드를 제작하였다. 카본 가이드(Carbon Guidner)는 열전도도가 좋아 소결성이 뛰어나고, 단단하여 반복 작업이 가능하다.

3.2 파우더 성형

보통 분말야금에서 분말의 가압성형은 소결제품을 얻기 위해, 또한 좋은 특성을 얻기 위해 대단히 중요한 조작 중 하나이다. 일반적으로 분말을 성형하여 압분체를 얻는다는 것은 원하는 형태를 만들어 운반시에 손상이 없고 소결작업에 지장이 없을 정도로 굳히는 것을 말한다. 압분체를 만들

때의 가압력의 크기는 분말의 종류, 형상 등 여러 가지 조건에 의해 대단히 다르나, 상온 가압시는 일반적으로 최소한 1ton/cm² 이상의 압력이 필요하다^[10]. 하지만 본 논문에서는 높은 밀도의 소결제품을 얻고자 하는 것이 아니라, 적당한 표면 조도를 가지는 정도에서 최대한 내부 기공을 함유하는 통기성 제품을 제작하는 것이 목표이다. 또한 소결전 이형작업을 하는 것이 아니라 성형 후 세라믹 형과 함께 분말을 소결하기 때문에 성형 후 압분체의 이형 작업이 필요가 없다. 따라서 통기성 금형 제작 공정에서는 최소 성형압력에 제한이 없다. 본 논문에서는 소결체 내부에 최대한 많은 기공을 확보하기 위해 중력 충전법을 적용하였다. 즉 세라믹 형을 분말에 삽입 후, 분말이 패턴의 세밀한 곳까지 전사가 가능하도록 가볍게 진동을 가했다.

3.3 소결

3.3.1 소결분위기

소결로 내 분위기를 유지하는 방법에는 분위기 가스를 사용하는 방법과 진공분위기를 유지하는 방법이 있으나, 가스 사용의 경우 폭발의 위험성과 가스 유지비가 많이 든다는 단점이 있다. 따라서 본 논문에서는 진공분위기 상태에서 소결하였으며 진공상태는 10⁻⁴ Torr 이다.

3.3.2 소결온도 및 소결시간

온도 상승 속도는 20°C/min이며 냉각 속도는 12°C/min 이며, 소결온도는 800°C, 850°C 그리고 900°C 등 50°C 간격으로 변화시켰다. 소결시간은 30, 40, 50, 60 분으로 10분 간격으로 하였다.

3.4 이형

소결이 끝나면 가이드에서 소결체와 간이 세라믹 형을 분리시킨 후, 고압 세척기로 간이 세라믹 형을 소결체에서 제거해 낸다.

4. 실험결과 및 고찰

본 연구에서 제작된 통기성 금형은 금형 내부 공기를 효과적으로 제거하면서 양질의 제품을 생산하기 위한 양산용 금형이다. 이러한 양산용 금형으로서 갖춰야 할 조건으로는 기계적 강도, 치수정밀도 등과 더불어 통기성 금형의 가장 큰 특징인 통기도가 있다.

4.1 통기도

통기도는 통기성 금형에서 가장 핵심이 되는 특성이다. 금형의 통기성이 좋을수록 내부 공기나 유해 가스가 적절히 배출되어 제품표면에 결함을 남기지 않게 되고, 더불어 미세한 형상까지 전사가 가능해진다. 통기도의 측정은 시편을 두께 5mm, 지름 20mm가 되게 준비한 다음, Fig. 5에서 보는 바와 같이 진공흡입구에 위치시키고 경계부분을 실링시킨다. 그리고 진공펌프로 1000cc의 내부 공기를 시편을 통과하여 제거시킬 때, 진공 게이지 값이 -760mmHg 까지 떨어지는 데 소요되는 시간을 측정함으로써 얻었다. 통기도를 구하는 식은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

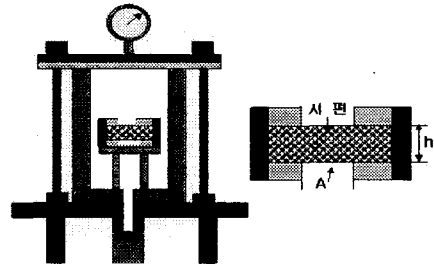


Fig. 5 Permeability tester

$$\text{통기도} = \frac{V \cdot h}{P \cdot A \cdot t}$$

여기서, P : 압력 (N/cm²)
 V : 통과 시킨 공기량 (cm³)
 A : 시편의 단면적 (cm²)
 h : 시편의 높이 (cm)
 t : 통과 시간 (sec)

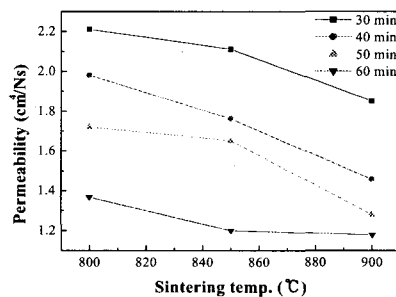


Fig. 6 Permeability of sintering temp. condition

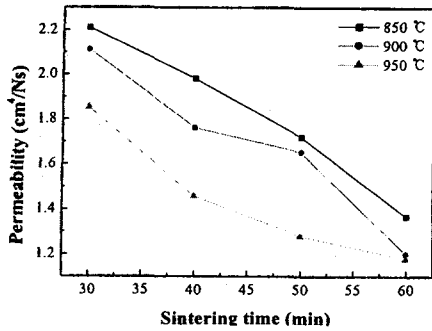


Fig. 7 Permeability of sintering time condition

Fig. 6과 Fig. 7에 각각 통기도의 소결시간에 대한 변화와 소결온도에 대한 변화를 그래프로 나타내었다. 통기도의 단위는 cm^4/Ns 이다. 소결온도와 소결시간에 대한 통기도의 관계를 살펴보면, 소결온도와 소결시간이 각각 증가할수록, 통기도는 감소함을 알 수가 있다. 이것은 소결온도가 높아지고 소결시간이 증가할수록 소결목(Sintering neck)이 커지면서 기공의 크기가 작아지는 반면에 내부 밀도는 증가함으로써 공기의 흐름을 방해한 결과로 볼 수 있다.

4.2 경도

일반적으로 소결금속의 경도측정에 관해서는 아직 규격이 없으며 재질에 따라, 보통 로크웰(Rockwell)경도의 A, B, F 및 H scale 또는 브리넬(Brinell) 및 마이크로 비커스(micro-Vickers)경도 등이 사용된다. 본 논문에서는 로크웰 경도의 B scale로 측정하였으며, 강구의 직경은 1/16 in, 하중은 100kg으로 하였다. 경도측정 결과, 같은 시편에 대해 측정치의 편차가 큰 편이었다. 따라서 본 논문에서는 각 시편에 대해 5번의 측정 후 최소 값과 최대 값을 제외한 나머지 측정치의 평균값을 취하였다. Fig. 8과 Fig. 9를 살펴보면 소결온도와 소결시간이 증가할수록 경도 값이 커짐을 알 수 있다. 소결이 진행될수록 내부밀도가 증가하여 통기도는 감소하게 되나 경도는 증가하게 되는 것이다. 이렇듯 경도는 통기도 값과 상반되는 경향이 있어, 경도 값이 증가할수록 통기도는 나빠지며, 통기도가 향상될수록 경도 값은 떨어진다. 따라서 적절한 조건을 찾는 것이 중요하다.

4.3 수축률

수축률은 Fig. 10에서 보는 것과 같이 알루미늄

절삭 가공하여 제작하였다. 형상은 직경 60, 80mm, 높이 각각 20mm의 원기둥을 안으로 깎은 모양이다.

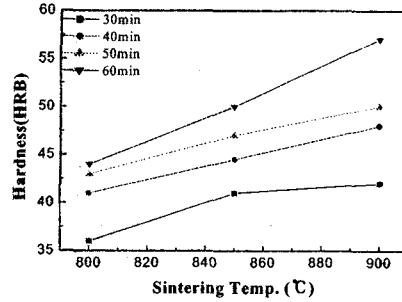


Fig. 8 Hardness of sintering temp. condition

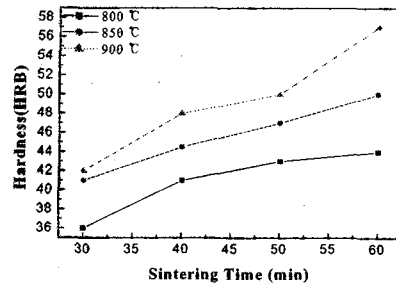


Fig. 9 Hardness of sintering time condition

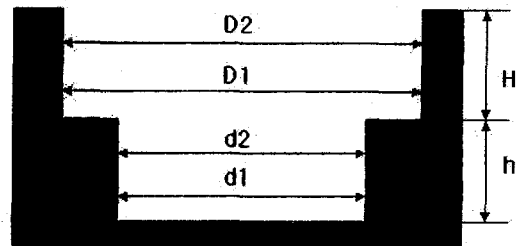


Fig. 10 Master model

치수정밀도의 측정은 프루브 타입(Probe Type)의 3차원 측정기를 이용하였다. 소결 결과 원기둥 전체에 수축이 균일하게 일어나지 않고 아랫부분과 윗부분의 수축률이 다르게 발생하였다. 따라서 본 논문에서는 소결제품의 작은 원기둥의 위, 아래 각 5mm 지점에서의 직경을 d1, d2라 하고, 큰 원기둥 위, 아래 각 5mm 지점의 직경을 D1, D2로 하여 직경을 측정하였다. 또한, 작은 원기둥의 높이를 h,

큰 원기둥의 높이를 H로 하였다. 직경은 각각 3회 측정하여 평균값을 구하였고, 높이의 경우 각각 4회 측정하여 평균값을 구하였다.

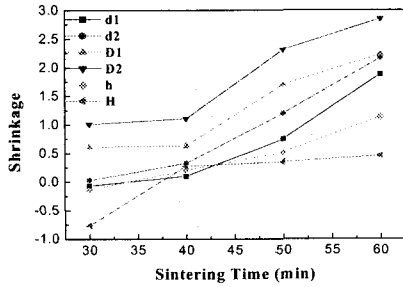


Fig. 11 Shrinkage for sintering time at 800°C

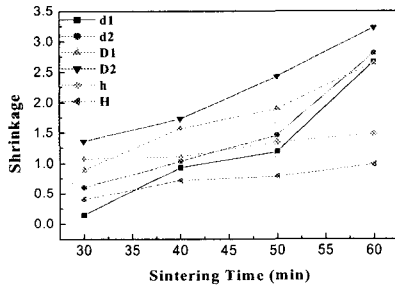


Fig. 12 Shrinkage for sintering time at 850°C

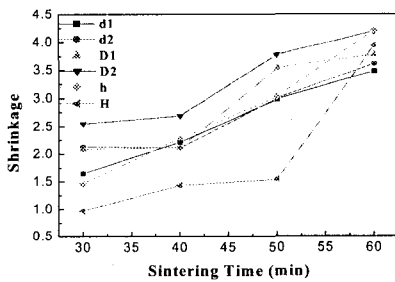


Fig. 13 Shrinkage for sintering time at 900°C

Fig. 11, Fig. 12, Fig. 13에 각각 소결온도 800°C, 850°C, 900°C에서의 소결시간에 따른 통기도 변화를 그래프로 나타내었다. 수축률 그래프를 살펴보면 소결온도와 소결시간이 증가할수록 수축률도 같이 증가함을 알 수 있다.

4.4 SEM 측정

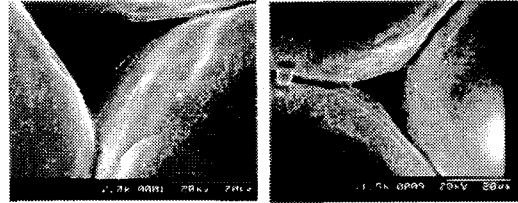


Fig. 14 Photo of SEM at 800°C Fig. 15 Photo of SEM at 850°C

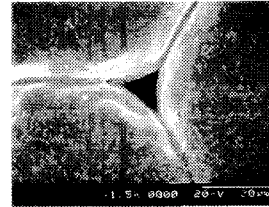


Fig. 16 Photo of SEM at 900°C

SEM측정 사진을 살펴보면 800°C에서의 기공의 크기는 대략 20 μ m 정도 되며, 850°C에서는 약 10 μ m, 그리고 900°C에서는 약 5 μ m 정도로, 온도가 증가함으로써 기공의 크기가 작아짐을 알 수 있다.

4.5 통기성 금형 제작 공정 적용

통기성 금형을 이용한 가압성형의 한 응용으로써 신발 금형의 패속제작공정에 적용해 보았다. 신발 금형은 일반 금형과는 달리 자유 곡면과 언더컷(Under cut)이 많기 때문에 절삭공정만으로 제작하는데 많은 어려움이 있다. 또한 신발금형 역시 가압성형시 내부 공기배출 문제가 있어 금형제작 후 수퍼드릴 등을 사용해 에어벤트를 뚫어 주고 있다. 하지만 에어벤트의 수가 패턴(Pattern)이 단순한 경우라도 최소 40여 개에 이르고, 패턴이 복잡한 형상의 경우 수 백 개에 이르러 금형의 생산비용 및 납기면에서 많은 문제점을 갖는다. 따라서 본 논문에서는 Fig. 3에서와 같이 통기성 금형 제작공정을 이용해 Fig. 17과 같은 통기성 신발 금형을 제작해 보았다.

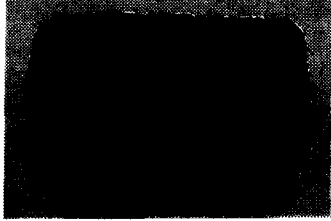


Fig. 17 Porous shoe metal mold

5. 결론

본 연구의 수행결과를 정리해 보면 다음과 같다.

1. 통기성 금형의 특성을 평가하기 위하여 통기도, 경도, 치수정밀도를 평가하였다.
2. 통기도 측정 장치를 이용하여 통기도를 측정한 결과, 1.2~2.2 cm⁴/Ns 범위의 값을 얻을 수 있었다.
3. 통기성 금형은 소결 공정 시에 수축을 동반하게 되는데, 소결온도 800℃에서 850℃ 사이에 선 대략 0.1% 이하에서 2%이하의 수축을 보였고 900℃에서는 2%에서 4%까지의 큰 수축률을 보였다. 그러나 전체적으로 균일하게 수축이 일어난다면 설계단계에서 보정이 가능하게 된다. 설계단계에서의 보정이 이루어진다면 치수정밀도는 1%이내 까지 높은 정밀도로 안정화시킬 수 있다.
4. 통기성 금형을 이용한 신발 금형 제작 공정을 개발하였다. 통기성 금형 제작 공정을 신발금형 제작 공정에 도입함으로써 따로 에어벤트를 뚫는 작업을 하지 않고 내부 공기를 제거할 수 있는 신발금형을 제작할 수 있었다.

후 기

본 연구는 국제 IMS(Intelligent Manufacturing Systems) 프로그램의 연구비 지원에 의해 진행되었습니다.

참고문헌

1. 손양인, 사출성형 금형설계, 기전연구사, p. 16, 1955.
2. Terry T. Wohlers, "Worldwide developments &

trends in rapid prototyping & tooling," ICRPM'98, pp. 1-6, 1998.

3. Paul Jacobs, "Recent Advances in Rapid Tooling from Stereolithography," The Seventh International Conference on Rapid Prototyping, pp. 338-354, 1997.
4. T. Nakagawa, M. Imamura and Y. Xu, "Overview of rapid prototyping research and development in japan," Proceeding of the 8th ICPE, pp. 3-16, 1997.
5. 정성일, 통기성세라믹형을 이용한 알루미늄 정밀 주조 제품의 쾌속 제작 구현, 부산대학교 정밀기계공학과 공학석사 학위논문, p. 2, 2000.
6. 정성일, 통기성세라믹형을 이용한 알루미늄 정밀 주조 제품의 쾌속 제작 구현, 부산대학교 정밀기계공학과 공학석사 학위논문, p. 6, 2000.
7. 정성일, 정두수, 임용관, 정해도, 조규갑, "슬립캐스팅을 이용한 통기성 세라믹형의 쾌속 제작," 한국정밀공학회지, Vol. 16, No. 5, pp. 98-103, 1999.
8. Randall M. German, Animesh Bose, "Injection Molding of Metals and Ceramics," Metal Powder Industries Federation, pp. 175-218, 1997.
9. 정현생, 김종오, 세라믹스화학, 반도출판사, pp. 163-176, 1993.
10. 김문일, 이동희, 분말야금 · 소결기구, 청문각, pp. 6-34, 1987.