진공 소결 방식을 이용한 통기성 금형 소재 개발

김동원*, 조규일, 김현근, 강자연, 이원혁¹, 황금철¹

경기대학교 재료공학과, ¹(주)대화알로이테크

Development of Porous Metal Mold Material using Vacuum Sintering Method

Dong-Won Kim*, Kyu-Il Cho, Hyun-Keun Kim, Ja-Youn Kang,
Won-Hyuk Rhee¹, Keum-Cheol Hwang¹

Department of Advanced Materials Engineering, Kyonggi University,
94-6, Yiui-dong, Yeongtong-gu, Suwon, Gyeonggi-do 443-760, Korea

¹Daehwa Alloytech Co., Ltd, 12-4 Choungwon-ri, Mado-Myeon, Hwaseong-si, Gyeonggi-do

(Received August 20, 2008 ; revised October 23, 2008 ; accepted October 30, 2008)

Abstract

The porous metal material is used for injection metal mold with a great deal of gas production because it makes plenty of gas exhausted through pores formed in the metal mold. A canning HIP method was conventionally used for manufacturing of porous metals, but because of difficulty of process control and high cost of production its application was limited. In this experiment, porous metal mold material was produced by an enhanced vacuum sintering method with simply controlled and economical process and porosities/mechanical properties with variation of sintering temperature and duration time during vacuum sintering were studied. As a result, quality goods were obtained at optimized conditions as follows: sintering temperature of 1230°C, duration time of 2 hr and showed superior properties in wear loss and thermal conductivity and the same properties in hardness, TRS (Transverse Rupture Strength), and thermal expansion coefficient in comparison with those under canning HIP.

Keywords: Porous metal mold, Porous material, Vacuum sintering, Canning HIP, Injection mold

1. 서 론

최근 전기/전자기기, 광학기기, 자동차, 의료기기 등 다양한 분야에 사용되어지고 있는 엔지니어링 플라스틱 재료의 고기능화, 정밀화 등 요구조건이 다양해짐에 따라 사출 성형품의 두께가 얇아지고 형태가 복잡해지고 있다. 이에 따라 사출 성형용 금형의 형태 역시 복잡해지고 있다.

사출 성형용 금형의 형태가 복잡해짐에 따라 현재 문제가 되고 있는 것은 금형 내의 공기나 유해 가스이다. 이러한 내부 공기가 적절히 빠지지 않는다면 제품표면에 결함이 발생하게 되고, 성형체 내부에 기포가 존재함으로써 응력집중이 생기고 강도의 저하를 가져오게 되며 사출압력을 높여 사이클

주기의 증가를 가져오게 되는 등 성형체 성능뿐만 아니라 전반적인 공정의 효율을 저하시킨다. 이를 방지하기 위하여 금형 제작시 수퍼 드릴이나 와이어 커팅 등으로 에어 벤트를 금형에 직접 뚫거나, 플러그식 에어 벤트를 끼우는 방법과 canning HIP (Hot Isostatic Press) 방식을 이용하여 금형 자체를 통기성 소재로 제작하는 방식을 이용해 왔다¹⁾.

그러나 에어 벤트를 이용한 방식은 일정 부피 이상의 기포를 배출하기에는 충분하지 않고, 금형 크기에 비례하여 에어 벤트의 수가 증가하기 때문에 금형 단가나 제작 기간이 증가하게 되는 문제점이 있으며, 복잡한 모양의 금형의 경우 에어 벤트 사용시 위치의 제약이 따르게 된다¹⁾. 또한 canning HIP 방식은 분말을 can에 충전시킨 후 봉합하여 아르곤 등의 불활성 가스를 압력 매체로 하여 고온-고압하에서 등방향으로 가압하는 방법으로 분말 충전

*Corresponding author. E-mail : dwkim@kyonggi.ac.kr

후 봉합 기술과 수축률 제어 공정이 까다롭고, 제조 단가가 높을 뿐만 아니라 기공들의 제거를 목적으로 사용하던 방식이기 때문에 기공을 제어하는 기술이 힘든 단점이 있다²⁾. 또한 관련 기술의 대부분을 외국에서 보유하고 있기 때문에 수입 비용 및 로열티 등의 추가적인 비용이 발생하게 된다.

이러한 이유로 본 연구에서는 canning HIP 방식의 단점을 극복하기 위하여 진공 소결 방식을 제안하였다. 진공 소결 방식은 분말을 원하는 형태로 성형하여 진공 소결 온도와 유지시간을 조절하여 기공률을 제어하는 방식으로, 다른 방식들과 비교하여 공정제어가 쉽고 별도의 시스템이 필요하지 않기 때문에 경제적인 장점이 있다. 본 실험에서는 분말을 성형하여 진공 상태에서 소결함으로써 별도의 벤트 시스템 없이 금형 자체에 기공을 유지하여 성형체 내부에 포집된 기포를 제거하는 방식을 사용하였으며, 진공 소결 방식의 주요 변수인 소결 온도, 유지시간 등에 따른 특성 변화를 관찰하여 최적 공정 조건을 규명하여 통기성 금형 소재를 개발하였다.

2. 실험방법

Canning HIP 방식의 경우 분말을 can에 넣어 용접을 통하여 밀봉한 후 canning HIP를 진행하고 소둔 처리 후에 can를 제거한다. 그 후 열처리를 통하여 제품으로 사용되어진다.

진공 소결의 경우 can 제작 및 canning HIP 공정 대신에 냉간 정수압 성형 및 진공 소결을 진행한 다. 그림 1은 진공 소결 방식과 canning HIP 방식의 공정도를 나타내었다. 진공 소결 방식을 이용하여 다음과 같이 실험을 진행하였다.

일반적으로 canning HIP 방식을 이용한 소재의 경우 진공 소결 방식을 이용한 소재에 비하여 기계적 특성이 우수하기 때문에^{3,4)} 최초 분말 준비에 있어 V, C의 함량을 canning HIP 방식 보다 상대적으로 다량 첨가하여 바나듐카바이드가 균일하게 분산되어 있어 인성 및 항복 강도가 높고 내마모성이 좋은 성질을 갖게 설계되어진 분말을 제조하였다⁵⁾. 제작된 분말의 성분과 상용화된 canning HIP 방식

Fig. 1. Process flow chart of (a) vacuum sintering and (b) canning HIP process.

으로 제조된 소재의 성분을 표 1에 나타내었다. 제조방법은 스테인리스 스틸 밀링 자 속에 초경 $\phi 8 \sim \phi 10$ 볼을 장입하고, 내부에 합금 설계된 파우더 ($500 \mu\text{m}$ 크기 이하의 C, Cr, Mo, V, Fe Si)를 장입 후 산화 방지용 용매인 헥산을 약 80~90% 채운 후 믹싱을 20시간 이상 진행하여 건조한 후에 제작된 분말을 체거름을 통하여(80 mesh 이하) 준비하였다.

준비된 분말을 균질한 모양을 얻기 위하여 냉간 정수압 성형(Cold Isostatic Press)⁶⁾을 이용하여 $55 \times 60 \times 100 \text{ mm}$ 크기로 성형하였다. 냉간 정수압 성형의 경우 분말을 고무백에 넣은 후 성형성을 높이기 위하여 왁스를 5% 첨가 후 가장 적절한 밀도를 얻기 위하여 10,000 psi(69 Mpa)로 등방향에서 압력을 가하여 성형을 진행하였다.

이후 성형된 성형체를 진공가열로를 이용하여 $1.0 \times 10^{-3} \text{ torr}$ 진공 조건하에서 승온 온도 $5^\circ\text{C}/\text{min}$ 으로 진행하였고, 그림 2(a)와 같이 총 5단계에 걸쳐 소결을 진행하였다. 소결 공정은 승온 단계인 I단계와 온도를 유지하여 첨가된 왁스를 제거하는 II단계, 소결온도까지 온도를 높이는 III단계, 온도를 유지하여 소결이 이루어지는 IV단계, 이후 냉각단

Table 1. Powder components of vacuum sintering process and canning HIP process

구 분	성분(Wt%)						
	C	Cr	Mo	V	Si	Ni	Fe
진공소결방식	1.75~1.95	5~6	1~1.5	8~10	0.8~0.9	-	Balance
Canning HIP 소재	1.16	18.2	-	0.27	-	0.1	Balance

	IV							
Temp. (°C)	1200		1230			1270		1300
Time (hr)	1	2	3	1	2	3	1	2

(a)

(b)

Fig. 2. Diagram of (a) vacuum sintering process and (b) quenching and tempering process.

제인 V단계로 이루어져있다. 진공 소결 시 소결온도는 1200°C, 1230°C, 1270°C, 1300°C, 소결 유지시간은 1시간 간격으로 변화시키며 진행하였고, 그에 따른 시편의 기공 및 기계적 특성을 관찰하였다.

소결된 시편은 내·외부의 폐기공들의 소멸을 위하여 표 2에서와 같은 공정 조건에서 열간 정수압(Hot Isostatic Press) 공정을 진행하였다⁷⁾. 열간 정수압은 제작된 시편을 고무백에 넣은 후 아르곤 가

스를 주입하여 등방향에서 열과 압력을 가하여 실행하였다.

진공 소결과 열간 정수압을 통해 고경도 재료가 된 시편을 응력제거, 기계가공성 개선, 퀀칭 전 예비 처리 및 퀀칭 시 균열 방지를 위하여 소둔을 진행하였다⁸⁾. 소둔의 조건은 870°C까지 5시간동안 가열한 후 3~5시간 유지 후 540°C까지 22시간동안 냉각한 후 노냉을 진행하였다.

소둔 처리된 시편을 1050°C까지 10°C/min로 가열하며 600°C, 850°C, 1050°C에서 30분간씩 유지하여 열처리 공정을 진행하였다. 850°C까지 10°C/min로 가열하여 오스테나이트 온도에서 1차 탄화물이 분해되어 기지 내에 다량의 합금원소가 고용되며 퀀칭 시 오스테나이트가 마르텐사이트 변태를 하여 마르텐사이트 강화의 효과를 얻었다. 퀀칭만 하면 취약해지기 쉬우므로 템퍼링 열처리를 하여 2차 탄화물의 석출 및 잔류 오스테나이트의 2차 마르텐사이트 변태를 통해 인성도 강화시켰다^{9,10)}. 오스테나이트 및 템퍼링의 조건은 그림 2(b)와 같다.

위와 같은 공정을 통하여 제조된 시편을 진공 소결시 소결 온도, 유지 시간에 따른 기공들의 구조 및 크기를 관찰하기 위하여 시편을 절반으로 파단 후 파단면의 중심을 기준으로 15×15×10 mm 크기로 절단하고, 폴리싱 처리 후 주사전자현미경(FE-SEM; Jeol, JSM-6500F)을 이용하여 관찰하였다. 기공률 및 개기공을 통한 기체의 통과유무를 측정하기 위하여 수은 압입법(기공률 측정 장비; Micromeritics, AutoPore IV9510)과 시편 자체에 에어 플러그를 연결하여 공기를 주입하는 공기 방울 시험을 이용하였다. 기공 특성 측정 후 시험에 대한 경도(미소경도계; Mitutoyo, MVK-H1) 및 내마모성(Multi Wear Machine; SRV)을 측정하여 비교하였다.

위와 같이 최적 소결 조건으로 제작된 시편은 금형 소재로서 기본적인 물성치를 만족해야하기 때문에 기계적 강도에 영향을 미치는 소둔경도(미소경도계; Mitutoyo, MVK-H1), 경화경도(미소경도계; Mitutoyo, MVK-H1), 항절력(Bending Testing Machine; Instron Ltd.)을 측정하였고, 금형 소재의 금형횡수와 수명에 영향을 미치는 내마모성(Multi Wear Machine; SRV) 및 열적 스트레스에 영향을 미치는 열전도율(열전도도 측정기; KEM, TPA501) 및 열팽창 계수(열·기계적 특성 분석기기; TA Instruments, TMA2940)를 측정하였다. 또한 기존의 canning HIP방식을 이

Table 2. Process conditions of HIP(Hot Isostatic Press)

구 분	작업 유체	작업 온도(°C)	작업 압력	유지 시간
HIP 조건	Ar	1000~1100	15,000 psi	2 hr

용한 상용화된 수입 소재와 본 연구에서 얻어진 소재와의 특성을 비교 분석하였다.

3. 실험결과

본 실험에서는 혼합 분말을 이용하여 냉간 정수압 성형 후 진공 소결 방식을 이용하여 통기성 금형 소재를 제조하였다. 진공 소결은 분말 입자들이 가열에 의해서 고체 상태에서 원자간의 흡인력으로 결합하고, 그 결과 분말 전체의 강도가 증대하며, 물질이동에 의해 치밀화와 재결정을 일으키는 것으로 분위기를 진공 상태로 만들어 진공도가 높은 조건에서 진행하므로 소결속도가 빠르고, 재료가 보호 분위기 가스나 소결공정에서 나오는 가스와 화학적으로 작용할 우려가 있는 경우에 소결 반응과 동시에 진공 펌프를 통하여 가스를 제거하기 때문에 소결체 자체에 영향을 미치지 않는 특징이 있다.

본 실험에서 분말 제조시 V, C의 양을 충분히 첨가하여 바나듐카바이드를 형성시켜 인성 및 항복강도가 높고 내마모성이 좋은 분말을 제조하였다. 냉간 정수압 성형 공정을 통해 압력만을 주어 조직적 변화가 일어나지 않게 성형을 실시하고, 진공 소결을 통해 소결하여 기공들이 유지된 시편을 제조하였다. 소결 처리된 시편을 열간 정수압 처리를 하여 폐기공들을 제거시킨 후 소둔을 통해 강한 경도를 나타내는 시편을 가공이 용이하게 경도를 조절하였다.

제작된 통기성 금형은 금형 내부 공기를 효과적으로 제거하면서 양질의 제품을 생산하기 위한 양산용 금형이다. 이러한 양산용 금형으로서 갖춰야 할 조건으로는 기계적 강도, 치수 정밀도 등과 더불어 통기성 금형의 가장 큰 특징인 기공 특성이 있다. 기공 특성의 경우 시편의 기공률과 시편 내 외부가 연결된 개기공(네트워크 기공)들의 존재가 중요한 위치를 차지한다. 현재 상용화되어 사용되어지는 canning HIP 방식 소재의 경우 기공률 측정 결과 16~18%를 나타내고 있으며, 공기 방울 시험 결과 전면에서 공기 방울이 배출되어 개기공의 존재를 확인할 수 있었다. 이에 진공 소결 방식을 이용하여 소결온도 및 유지시간과 기공 특성과의 상관관계를 알아보고, 기공률에 따른 기계적 특성을

Fig. 3. Porosity of metal mold material with vacuum sintering conditions.

살펴보았다. 그림 3과 표 3은 소결 온도 및 유지시간에 따른 기공률과 공기 방울 시험 결과를 나타내었다. 그림 3에서 온도가 1200°C에서 1300°C로 증가함에 따라 기공률이 급격히 감소하는 것을 볼 수 있다. 급격히 감소하던 기공률은 1300°C에서 거의 진밀도에 가깝게 기공률을 나타내었고, 유지시간에 따라서는 온도에 따른 감소폭 보다는 낮았지만 기공률이 줄어드는 것을 확인할 수 있었다. 또한 표 3에서 알 수 있듯이 공기 방울 시험 결과 1270°C 이상에서 기공들이 줄어들어 공기 방울의 배출이 현저히 줄어드는 모습을 보였으므로 온도가 높아지고 유지시간이 길어짐에 따라 증가된 열에너지에 의해 소결이 진행됨으로써 기공들이 줄어드는 것을 관측할 수 있었다. 진공 소결시 소결온도, 유지시간의 변화에 따른 시편의 기공 크기 및 분포의 변화를 관찰하기 위하여 절단면과 파단면의 주사전자현미경 사진을 분석하였다.

그림 4는 주사전자현미경을 이용하여 소결온도 1200, 1230, 1270, 1300°C에서 유지시간을 1시간으로 고정한 시편의 절단 및 파단 조직의 변화를 나타낸 것이다. 그림 4(a), (c)의 경우 입자 크기가 균일하지 않고, 거대 기공들이 넓게 분포하는 모습으로 소결의 진행 초기 단계이며, 공기 방울 시험 결과 두 시편 모두 전면에서 공기 방울이 배출되어

Table 3. Result of air bubble test

소결온도 (°C)	1200	1200	1200	1230	1230	1230	1270	1270	1300	1300
유지시간 (hr)	1	2	3	1	2	3	1	2	1	2
공기방울시험	○	○	○	○	○	△	△	△	×	×

○ : 전면에서 공기 방울 배출, △ : 일부분에서 공기 방울 배출, × : 공기 방울이 배출되지 않음

개기공들의 존재는 확인하였지만 그림 3의 기공률 측정 결과 그림 4(a)의 경우 27.6%를 나타내었고, 그림 4(c)는 21.1%를 나타내었다. 두 시편 모두 상용화된 소재의 적정 기공률보다 높게 나타났다. 또한 파단면의 사진인 그림 4(b), (d)에서 온도가 낮기 때문에 소결이 진행되지 않아 입자들이 응집된 상태로만 존재하는 것을 확인할 수 있다. 그림 4(e), (g)의 경우 소결 온도가 증가함에 따라 기공들의 분포가 현저히 감소하였고, 입자의 형상이 거의 관찰되지 않기 때문에 소결이 이루어진 것으로 판단되

었다. 그림 4(e)의 경우 공기 방울 시험 결과 그림 3에 의하면 공기방울이 현저히 줄어들었고, 기공률 역시 그림 3에서와 같이 11.1%로 감소된 수치를 나타냈으며, 그림 4(g)의 경우 공기 방울이 거의 배출되지 않았으며, 기공률 측정 결과 그림 3에서와 같이 1.7%를 나타내었다. 파단면에서도 그림 4(f)의 경우 입자들이 녹아 결합되어 입자들 사이에 있던 기공들이 많이 소멸된 것을 확인하였다. 그림 4(h)에서도 거의 모든 입자들이 녹아 결합되어 기공들이 거의 소멸된 것을 볼 수 있었다. 유지시간 1시

Fig. 4. SEM images with various vacuum sintering conditions : (a) cutting surface of 1200°C 1 hour, (b) rupture surface of 1200°C 1 hour, (c) cutting surface of 1230°C 1 hour, (d) rupture surface of 1230°C 1 hour, (e) cutting surface of 1270°C 1 hour, (f) rupture surface of 1270°C 1 hour, (g) cutting surface of 1300°C 1 hour, (h) rupture surface of 1300°C 1 hour.

Fig. 5. SEM images with various vacuum sintering conditions : (a) cutting surface of 1200°C 2 hour, (b) rupture surface of 1200°C 2 hour, (c) cutting surface of 1230°C 2 hour, (d) rupture surface of 1230°C 2 hour, (e) cutting surface of 1270°C 2 hour, (f) rupture surface of 1270°C 2 hour, (g) cutting surface of 1300°C 2 hour, (h) rupture surface of 1300°C 2 hour.

간의 경우 1200, 1230°C의 기공률과 1270, 1300°C의 기공률이 큰 차이를 보이고 있으며, 파단면의 조직 사진에서 소결 온도에 따른 입자들의 소결이 급진적으로 이루어진 형태를 나타내므로, 유지시간을 2, 3시간으로 늘려 유지시간에 따른 기공률 및 조직의 변화를 관찰하였다.

그림 5는 소결 온도 1200, 1230, 1270, 1300°C에서 유지시간을 2시간으로 고정한 시편의 절단 및 파단 조직 사진으로 소결 온도가 1200°C인 그림 5(a)의 조직은 그림 4(a)의 조직과 비교하여 부분적으로 거대 기공들이 아직도 존재하고 있으며, 입자의 크기도 불균일한 양상을 나타내는 비슷한 특성을 보이거나 유지시간이 늘어남에 따라 기공들의 분포가 감소하는 경향을 나타내었다. 또한 공기 방울 시험에서 전면부에서 공기 방울이 배출되었지만, 기공률이 그림 3에서와 같이 21.4%로 상용화된 소재의 적정 기공률보다 높게 나타났다. 파단면 사진 그림 5(b)는 그림 4(b)에서와 비슷한 경향을 나타내었다. 소결 온도 1230°C인 그림 5(c) 조직의 경우 그림 4(c)에 비하여 분말 형상이 균일하고 기공 또한 일정한 분포를 이루고 있으며, 그림 3의 공기 방울 시험 결과에 의하면 전면부에서 공기 방울이 배출되어 개기공들이 확인되었고, 기공률 측정 결과 18.2%로 적정 수치를 나타내었다. 파단면의 경우 그림 5(d)에서와 같이 일정부분 소결이 되어 소결목이 존재하며 입자들 사이의 기공들도 일부 소멸되어 적정 기공의 분포를 나타내었다. 더욱 소결 온도가 증가함에 따라 그림 5(e), (g)의 경우 완전한 소결이 이루어져 기공들의 형상이 거의 보이지 않았고, 그림 3의 공기 방울 시험에서도 공기 방울이 배출되지 않았다. 기공률 측정 결과 그림 3에서와 같이 그림 5(e)는 10.6%를 나타내었지만, 표면의 기공은 거의 소멸되었고 그림 5(f)에서 파단면에서 일부 폐기공이 존재하여 기공률이 다소 높게 측정된 것으로 판단되었다. 그림 5(g)는 기공률 측정 결과 그림 3에서와 같이 1% 미만의 수치를 나타내었다. 파단면 사진에서 소결이 이루어져 기공이 소멸되어 기공의 형태를 볼 수 없었다.

유지시간을 3시간으로 늘린 시편 제조 시 1270, 1300°C는 유지시간 2시간에서 형성된 기공들이 거의 소멸하였기 때문에 배제하였다. 그림 6은 소결 온도 1200, 1230°C에서 유지시간을 3시간으로 늘린 시편의 조직 및 파단 사진으로 그림 6(a)의 경우 절단면의 조직사진에서 유지시간이 길기 때문에 1200°C 1시간, 2시간 유지 시편에 비하여 기공들의 분포가 감소하고 크기는 줄어들었지만, 여전히 기공들이 존재하고 있다. 그림 6(b)의 파단면에서 입자들의 모

Fig. 6. SEM images with various vacuum sintering conditions : (a) cutting surface of 1200°C 3 hour, (b) rupture surface of 1200°C 3 hour, (c) cutting surface of 1230°C 3 hour, (d) rupture surface of 1230°C 3 hour.

습이 그림 4(b), 그림 5(b)와 비교하였을 때 더욱 응집된 모습을 나타내었지만, 기공률 측정 결과 그림 3에서와 같이 20.9%로 큰 변화가 없었다. 그림 6(c)는 조직 사진에서 기공들의 분포가 줄어들었으며, 부분적으로 기공들만 존재하고 있는 모습을 나타내었으나 기공률 측정 결과 16.6%로 상용화된 소재의 적정 기공률에 근접한 수치를 보였다. 이러한 결과는 진공 소결시 유지시간이 길어져 표면의 경우 소결이 진행되어 기공들이 현저히 줄어들었지만, 내부의 입자들은 소결이 더 이상 진행되지 않아 내부 기공률의 경우 변화가 적게 일어난 것으로 판단된다. 내·외부 기공 분포가 일정하지 않으면, 사출 성형시 증식된 가스가 내부 기공을 통과하여 외부로 배출하게 될 때 원활한 배출이 어렵기 때문에 내·외부 기공의 분포가 비슷한 경향을 나타내는 것이 적합하다.

이와 같은 측정 결과를 통해 진공 소결시 소결 온도 변화가 유지시간 변화에 비하여 기공률 특성에 보다 큰 영향을 미치는 것을 확인할 수 있었다. 또한 소결 온도가 높아지고 유지시간이 길어짐에 따라 열에너지에 의하여 소결 초기단계에는 입자간 결합이 이루어지기 전이기 때문에 입자 사이의 기공들이 존재하고 소결이 진행됨에 따라 입자들 간의 소결목이 형성되고 점차 입자들이 결합하면서 기공들이 소멸되는 것으로 판단되었다¹²⁾. 제조 시편 조직의 절단면 및 파단면, 기공률 및 공기 방울 시험 결과에 의하면, 1270, 1300°C의 경우에는 높

Fig. 7. Hardness and wear loss property with porosity variation of samples vacuum sintered.

은 열에너지로 인하여 기공들이 상당부분 소멸되어 통기성 금형 소재로서 기공률이 떨어지고, 1200°C에서는 낮은 열에너지로 인하여 기공률이 높은 것을 확인할 수 있었다.

제조된 시편의 기공률에 따른 기계적 특성인 경도와 내마모성의 상관관계를 알아보기 위하여 기공률에 따른 시편의 경도와 내마모성 결과를 그림 7에 나타내었다. 측정된 결과에 의하면 그림 7에서 기공률에 따른 경도는 오차 범위를 고려하였을 때 선형적인 모습을 나타내었다. 기공률이 증가하게 되면 거대 기공이 존재하고 입자간의 결합력이 약하여 경도가 감소하게 되고 기공률이 감소하게 되면 입자들 간의 소결이 이루어져 결합력이 강하고 경화되어 경도가 증가되는 것으로 판단되었다.

내마모성 시험에서도 기공률이 20% 정도가 넘어서면서 거대 기공의 존재로 표면적이 줄어들어 마모가 되는 부분이 한정적인 영역에 국한되어 마모가 빨리 일어나기 때문에 내마모성이 급격히 떨어지는 것으로 판단되었다.

위의 결과로 통기성 금형 소재를 제작하기 위한 적정 조건은 기공들이 균일하게 분포하며, 기공들이 내·외부가 연결되어있어 가스의 분출이 원활하며, 일정한 경도와 내마모성을 유지하기 위한 기공률을 나타내는 영역으로 기공률이 11% 이하에서는 표 3에서와 같이 공기 방울 시험 결과 공기 방울이 원활히 분출되지 않았고, 기공률 20% 이상에서는 내마모성이 급격히 떨어지기 때문에 위의 조건을 만족하는 소결온도 1230°C, 유지시간 2시간인 것으로 나타났다.

최적 공정 조건인 소결 온도 1230°C 유지시간 2시간으로 제조된 시편을 소둔 처리 후 소둔 경도를

Fig. 8. Hardness measurement value comparison between vacuum sintering and canning HIP.

측정하였고, 열처리 후 금형 소재로서 필요한 물성치인 경화경도, 항절력, 내마모성 측정과 열전도를 열팽창 계수를 측정하여 기존의 canning HIP 방식을 이용한 소재와 비교하였다.

소둔 처리와 열처리를 한 진공 소결 방식 시편과 canning HIP 방식으로 제조된 시편의 경도 측정값을 비교하기 위해 그림 8에 나타내었다. 소둔 시편의 경우 진공 소결방식의 경우 평균 18.8HRc를 나타내었고 canning HIP 방식의 경우 평균 17.2HRc를 나타내었다. 경화 경도는 진공 소결 방식은 평균 50.1HRc를 나타내었고 Canning HIP 방식은 평균 53.4HRc를 나타내었다. 경도 측정 수치의 경우 두 소재의 기공률이 비슷하기 때문에 그림 9에서와 같이 큰 차이가 나타나지 않고 비슷한 수치를 나타

Fig. 9. Transverse rupture strength (TRS) measurement value comparison between vacuum sintering and canning HIP.

Fig. 10. Wear loss measurement value comparison between vacuum sintering and canning HIP.

내었다.

그림 9는 항절력 측정 수치 그래프를 나타내었다. 항절력 시험에서도 경도 시험에서와 비슷한 양상을 나타내었다. 진공 소결 방식을 이용한 소재의 경우 평균 623 MPa로 측정 되었으며, canning HIP 방식의 경우 평균 617 MPa를 나타내었다. 측정 수치의 차이는 6 MPa로 오차 범위내의 값으로 두 소재의 항절력은 거의 같은 수준을 나타내었다.

사출 성형을 하는 과정에서 금형 소재와 사출 성형품의 마찰로 인한 소재의 수명과 직접적으로 관련이 있기 때문에 중요한 요인으로 작용하는 내마모성 시험 결과를 그림 10에 나타내었다. 내마모성 시험 결과 진공 소결 방식 소재는 평균 27.4(mg/min)를 나타내었고 canning HIP 방식 소재는 평균 28.2(mg/min)를 나타내었다. 진공 소결 방식 소재의 경우 분말 제조시 마모성이 뛰어난 바나듐카바이드의 함량이 높기 때문에 canning HIP 방식의 소재보다 비교적 우수한 내마모 특성을 나타내었고 성형 공정 적용시 내마모성 시험보다 혹독한 공정 조건에서 성형이 이루어지기 때문에 성형품과 금형사이의 마찰로 인한 금형의 마모가 적어 금형의 수명을 증가시킬 수 있다.

열적인 특성은 금형 소재와 성형품의 마찰열과 반복된 공정으로 인한 온도의 상승에서 빠르게 열을 배출할 수 있는 성능을 나타내기 때문에 열적 열화 성질 특성을 방지하기 위하여 열적인 특성이 뛰어 날수록 금형 사용시간이 길어지므로 생산 효율 측면에서 더 유리하다. 열적인 특성은 열전도율과 열팽창 계수로 나타낼 수 있고 이들의 측정 결과는 그림 11에 나타내었다.

Fig. 11. Thermal conductivity and the coefficient of thermal expansion measurement value comparison between vacuum sintering and canning HIP.

열전도율 측정 결과 진공 소결 방식을 이용한 소재의 경우 평균 13.7(W/mk)로 측정되었고 canning HIP 방식 소재의 경우 평균 12.5(W/mk)로 측정되어 진공 소결 방식 소재의 공정 적용시 열전도율이 높아 열을 방출하는 능력이 우수하여 기존의 방식보다 빠른 냉각이 이루어질 것으로 판단된다. 열팽창 계수의 경우 진공 소결 방식 소재는 평균 11.8(10⁻⁶/k), canning HIP 방식 소재의 경우 평균 11.7(10⁻⁶/k)로 동등하게 나타났다.

진공 소결 방식을 이용한 통기성 소재의 경우가 canning HIP 방식의 소재에 비하여 내마모성 및 열전도율 특성에서는 비교적 우수한 특성을 나타내었고, 경도 및 항절력과 같은 기계적 특성과 열팽창 계수 등은 동등한 수준을 나타내었다. 따라서 본 연구에서 개발된 진공 소결 방식은 canning HIP 방식에 비해 공정이 단순하고 공정비용이 상대적으로 저렴하여 진공 소결 방식으로 통기성 금형 소재를 제조한다면 canning HIP 방식에 비해 빠른 생산 공정 적용 및 원가절감 효과 등을 얻을 수 있으며, 금형의 수명과 냉각 특성이 우수하여 공정 효율을 향상시킬 수 있을 것으로 기대된다.

4. 결 론

통기성 금형 소재 제작시 공정 제어가 어렵고, 제조 단가가 높은 canning HIP 방식을 대체하기 위하여 진공 소결 방식을 도입하였고, 공정 변수인 소결 온도와 유지시간 변화에 따른 기공률 및 기계적 특성 변화를 규명하였다. 그 결과 소결 온도 변화가 유지시간 변화에 비하여 기공 특성에 보다 큰

영향을 미치는 것을 확인할 수 있었고, 기공률에 따른 경도 및 내마모성 측정을 통하여 최적공정 조건인 소결 온도 1230°C, 유지시간 2시간을 확보할 수 있었다.

최적 공정 조건하에 제작된 시편을 소둔 및 열처리를 진행하여 기존의 canning HIP 방식의 기계적 및 열적 특성을 비교하였으며, 그 결과에 의하면 열전도율과 내마모성의 경우 canning HIP 방식보다 비교적 우수한 수준을 보였으며, 경도 및 항절력과 열팽창 계수는 동등한 수준을 나타내었다.

따라서 canning HIP 방식보다 공정 제어가 쉽고 제조 단가가 낮은 진공 소결 방식을 이용하여 우수한 특성을 갖는 통기성 금형 소재를 개발하였다.

감사의 글

본 연구는 지식경제부 산업기술개발사업의 공통 핵심기술개발사업 지원에 의하여 수행되었으며, 이에 감사드립니다.

참고문헌

1. K. L. Kim, S. I. Chung, Y. G. Im, H. D. Jeong, S. W. Lee, H. J. Choi, J. Kor. Sci. Pre. Eng., (2002) 1026
2. K. S. Oh, D. Y. Kim, S. J. Cho, J. Am. Ceram. Sci., 78 (1995), 2537
3. 강석중, 장시영, 분말재료공학, (사)한국분말야금학회(2004), pp.183
4. H.Y. Bor, C. Hsu, C.N. Wei, Mater. Chem. Phys. 84 (2004) pp.284
5. S. K. Kim, UOU report, 21 (1990), pp.73
6. J. K. Kim, H. C. Yang, K. T. Kim, Kor. Sci. Mecha. Eng., 27 (2003), pp.1076
7. H.Y. Bor, C. Hsu, C.N. Wei, Mater. Chem. Phys. 84 (2004) pp.284
8. 김학신, 금속열처리, Prentice Hall(2001), pp.17, 119
9. W. F. Smith, Structure and Properties of Alloys, Mc graw hill(2007), pp.27, 65
10. 강석중, 소결(치밀화, 입자성장과 미세조직), 과학문학사(2000), pp.136