

## 자기펄스 가압 성형장치를 이용한 분말성형

김준호, 김효섭, 구자명, 이정구\*, 이창규\*, 홍순직

### Consolidation of Powders by magnetic pulsed compaction

Division of Advanced Materials Engineering, Kongju National University, 275, Budae-dong, Cheonan, Chungnam, 330-717, Korea

\*Nuclear Materials Research Division, Korea Atomic Energy Research Institute, P.O. Box 105, Yuseong-Gu Daejeon, 305-353, Korea

Jun-ho Kim, Hyo-Seob Kim, Jar-Myung Koo, Lee Jeong-Koo, Rhee Chang-Kyu, Soon-Jik Hong

#### Abstract

In this research, we introduce a new process for the consolidation of different types of powders such as metal and ceramic powders by using a magnetic pulsed compaction (MPC). The successful consolidation of many kinds of powders including nanopowder by MPC has been presented. A wide range of experimental studies were carried out for characterizing mechanical properties and microstructure of the MPCed materials. It was found that effective properties of high strength and full density maintaining nanoscale microstructure were achieved. Finally, optimization of the compaction parameters and sintering conditions could lead to the good consolidation of powders (metal, ceramic, nano-powder) with higher density, and even further enhanced mechanical properties.

**Key Words:** Magnetic Pulsed Compaction, Consolidation, Densification

#### 1. 서론

최근 산업이 발달함에 따라 좀 더 우수한 특성을 갖는 재료를 개발하고, 응용하려는 연구가 많은 분야에서 시도되고 있으며 그 중에서도 나노분말을 포함한 분말재료를 이용한 연구가 활발히 진행되고 있다. 분말재료는 주로 촉매에 많이 활용되고 있지만 분말재료를 벌크화하여 기계부품과 같은 구조용 재료로 활용도가 증가하는 추세이다. 최근 각광을 받고 있는 나노재료분말은 조대 결정립 재료에 비하여 기계적 특성, 전자기적 및 광학적 특성 등에서 우수한 성질을 나타내므로 나노분말의 성형 및 소결 공정에서 입자 성장 제어의 어려움에도 불구하고 이에 대한 많은 연구가 이루어지고 있다. 분말 성형체는 대개의 경우 크거나 작은 기공을 갖게 마련이며, 건조와 소결 과정에서 수축 현상이 발생하므로 치밀성과 균질성이 충분하게 만족되어 있지 않으면 소결중에 변형이 일어나거나 균열이 발생하여 소결체의 최종 특성을 저하시킨다. 특히, 나노분말의 성형은 성형온도 증가로 인한 나노입자의 성장에 의하여 우수한 나노 특성을 나타내지 못하며, 나노분말의 비표면적 증가, 나노분말간의 마찰력 증가, 분말 내부에 포함되어 있는 가스

로 인하여 성형하는 것이 쉽지 않았다.

이와 같이 분말재료를 산업에 응용하기 위해서는 분말의 성형 및 벌크화 기술이 필요하다. 분말성형의 궁극적인 목적은 균일하고, 밀도가 높은 성형체를 제조하기 위함인데 현재 균일하고, 높은 밀도를 얻기 위한 분말의 성형방법으로는 상압 압축, 열간 압축, 단조 및 정수압 압축 등 여러 가지 방법들이 소개되고 있음에도 불구하고 밀도가 낮거나 결정입자 성장 등 많은 문제점을 갖고 있어 이들 성형방법에 새로운 접근 방법이 요구된다. 이에 동적 성형방법을 이용한 자기펄스 가압 성형장치(Magnetic Pulsed compaction:MPC)는 매우 짧은 시간(마이크론 초) 동안에 초고압(-5GPa)의 높은 압력을 가하여 분말의 치밀화를 가능하게 하므로 고밀도의 성형체 제작이 가능하고, 소결온도를 낮출 수 있을 뿐만 아니라 원료와 유사한 초기 미세조직을 얻을 수 있는 특징이 있다.

이에 본 연구에서는 기존의 압축, 비압축 성형과 다른 자기펄스 가압 성형장치(Magnetic Pulsed compaction: MPC)를 이용하여 금속, 세라믹 및 나노분말 등 다양한 분말재료에 대한 성형거동과 기계적 특성에 관한 연구결과를 보고 하고자 한다.

## 2. 실험방법

본 연구에 이용된 금속 마이크론 및 나노분말은 가스분무법과 전기선폭발법을 이용하여 제조된 분말을 사용하였으며, 세라믹 분말의 경우는 미국 Inframat Advanced Materials 회사로부터 구입된 분말을 사용하였다. 그림 1, 2는 본 연구에 이용된 분말의 형상을 주사전자현미경으로 관찰한 것으로서 다양한 분말 재료에 대한 성형성 연구 수행을 위하여 각종 분말재료를 사용하였다.

이와 같이 다양한 분말재료는 자기펄스 가압성형장치를 이용하여 내경 15mm 금형에 수 그램을 각각 장입하여 관상디스크를 제조하였다. 본 연구에서는 자기펄스 성형압력 변화에 따른 치밀화 및 특성 평가를 고찰하기 위하여 초기 압력을 0.5, 1, 2, 3 GPa로 변화시켰으며 제조된 각각의 성형체는 다양한 온도와 시간에서 성형 및 상압소결을 하였다. 그림 3은 자기펄스 가압성형장치로 1 GPa의 압력으로 성형된 성형체를 나타내는 것으로 성형체의 밀도는 100%를 나타내고 있다. 또한 일반 성형공정과 비교하기 위하여 재료 시험기를 이용하여 110 MPa의 압력으로 자기펄스 성형 공정과 같은 조건에서 성형하였다. 예비성형체의 밀도는 부피와 무게를 측정하여 계산하였고, 소결체의 밀도는 아르키메데스법으로 측정하여 평균값을 나타냈다. 성형체의 상분석은 XRD 분석기를 이용하였으며, 성형체의 표면 및 내부조직은 전계방출 주사전자현미경(Field Emission Scanning Electron Microscopy:FE-SEM)으로 관찰하였고, 기계적 강도는 인장시험기와 비커스 경도시험기를 이용하여 측정하였다. 또한 성형체의 마모특성은 건식마모시험기를 이용하여 분석하였다.

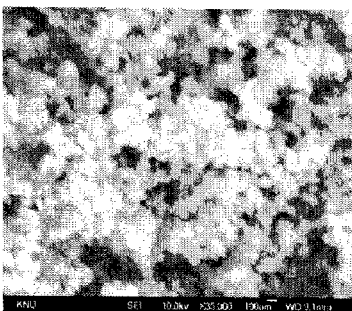


Fig.1 Cu-Ni 나노분말

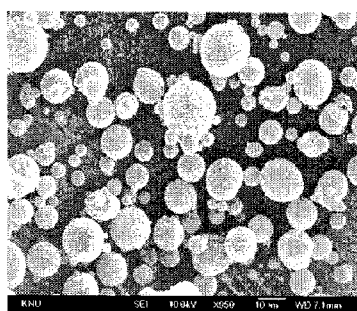


Fig.2 Al-Fe-Cr-Ti분말

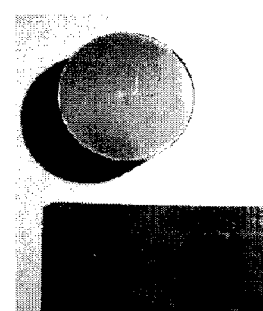


Fig.3 MPC성형체

## 3. 결과 및 고찰

본 연구에 이용된 금속 마이크론 및 나노분말은 가스분무법과 전기선폭발 장치를 이용하여 제조하였으

며 세라믹 나노분말은 상용화되어 있는 분말을 업체로부터 구입하였다. 마이크론 크기의 금속분말, 금속 나노분말 및 세라믹 분말은 자기펄스 가압성형장치로 100% 밀도에 가까운 성형체를 1초 안에 성형할 수 있었으며, 세라믹 분말을 제외하고는 성형압력과 성형온도 변화에도 불구하고 성형체 표면에 크랙과 같은 어떤 결함도 관찰되지 않았다.

그림 4, 5, 6는 Al-Fe-Cr-Ti 마이크론 분말, Cu-12%Ni 나노분말 및 TiO<sub>2</sub> 세라믹 나노분말 성형체의 성형밀도를 나타내는 것으로 일반적인 공정으로 성형된 성형체 보다 우수한 성형밀도를 얻을 수 있었다. 자기펄스 성형공정은 1초 이하의 매우 짧은 시간에 성형이 가능한 공정으로 본 연구를 통하여 금속분말, 나노분말 및 세라믹 분말의 치밀화 거동에 대한 연구를 수행한 결과 모든 분말에 대하여 우수한 밀도를 갖는 성형체를 제조할 수 있었다.

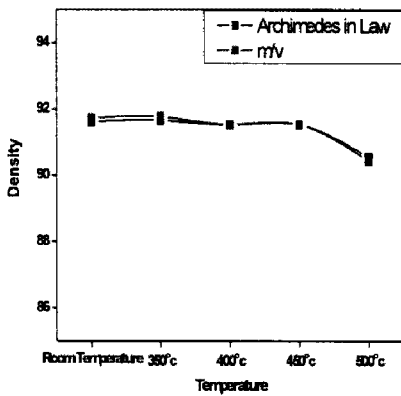


Fig. 4 Al-Fe-Cr-Ti분말 성형체 밀도

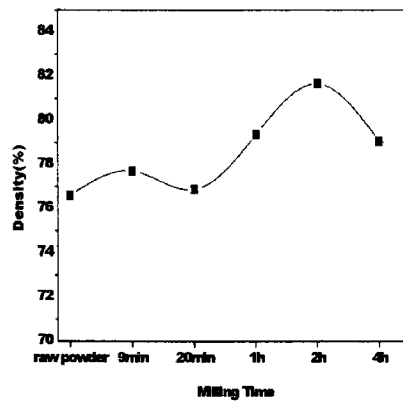


Fig. 5 Cu-Ni나노분말 성형체 밀도

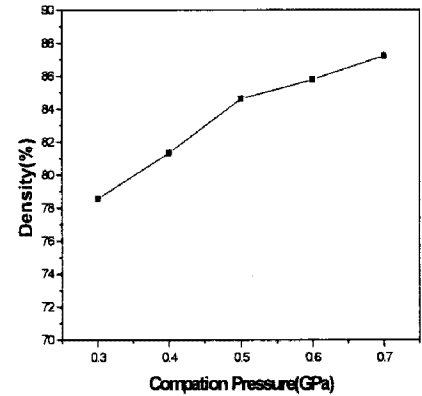


Fig. 6 TiO<sub>2</sub>분말 성형체 밀도

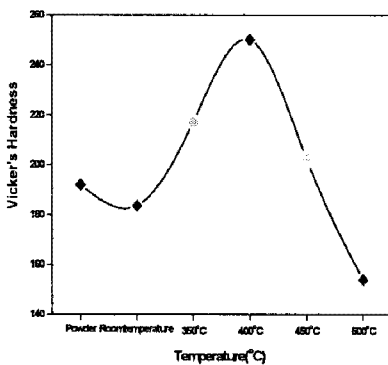


Fig. 7 Al-Fe-Cr-Ti분말 마모특성

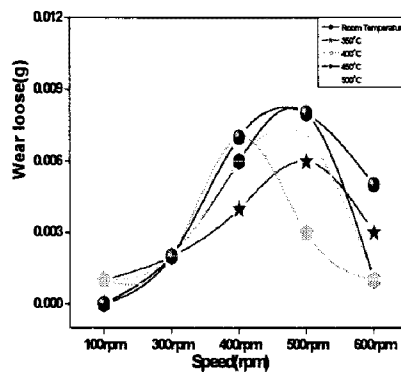


Fig. 8 Al-Fe-Cr-Ti분말 성형체 경도

그림 7은 자기펄스 가압 성형장치로 온도변화에 따라 성형된 성형체의 경도 값을 나타내는 것으로 Hv 250를 나타냈으며, 400 °C 에서는 결정립 조대화로 경도 값이 감소함을 알 수 있었다. 그림 8은 Al-Fe-Cr-Ti분말 성형체의 마모속도에 따른 마모 특성을 나타내는 것으로 경도 값과 유사한 400°C에서 가장 우수한 마모 특성을 나타냈다. 또한 본 연구에서는 나노 알루미늄분말을 고온에서 성공적으로 성형할 수 있었으며, 인장강도 또한 기존 마이크론 분말 보다 우수한 값을 나타냈다. 본 연구에서는 자기펄스 가압성형장치의 성형조건 (압력, 온도, 초기 성형체 밀도변화)을 확립한다면 기존 공정 보다 짧은 시간에 높은 압력으로 최적의 성형조건을 확립할 수 있을 것으로 기대된다.

## 후 기

“본 연구는 과학기술부의 21세기 프론티어 연구개발 사업의 일환인 ‘차세대 소재성형 기술개발 사업단’의 연구비 지원으로 수행되었습니다” 이에 감사드립니다..

## 참 고 문 헌

- [1] A. Inoue, et al., J. Mater. Sci. Lett., 6 (1987) 194.
- [2] S.J. Hong, H.S. Kim, C. Suryanarayana, B.S. Chun, Mater. Tran. Tech., 19 (2003) 966.
- [3] S.J. Hong and B.S. Chun, Mater. Sci. Eng., A348 (2003) 262
- [4] C.K. Rhee: 전기폭발법에 의한 금속 나노분말 제조 방법 및 장치, 대한민국 특허(2001) 출원번호 10-2001-0029606
- [5] C.K. Rhee, G. H. Lee, J. H. Park. And W. W. Kim: Proc.of 2nd Int.Symp.on Pulsed power and plasma applications, KERI, Korea (2001) 314