

W-Cu의 마이크로 금속분말사출성형

김순욱 · 양주환 · 박순섭* · 김영도 · 문인형

한양대학교 재료공학과

*전자부품연구원 바이오메카트로닉스 TF팀

Micro Metal Powder Injection Molding in the W-Cu System

Soon-Wook Kim, Ju Hwan Yang, Soon Sup Park*, Young Do Kim, and In-Hyung Moon

Division of Material Sciences and Engineering, Hanyang University, Seoul 133-791, Korea

*Biomechatronics TF Team, Korea Electronics Technology Institute, Pyungtaek 451-865, Korea

(Received July 30, 2002 ; Accepted from August 14, 2002)

Abstract The production of micro components is one of the leading technologies in the fields of information and communication, medical and biotechnology, and micro sensor and micro actuator system. Microfabrication (micromachining) techniques such as X-ray lithography, electroforming, micromolding and excimer laser ablation are used for the production of micro components out of silicon, polymer and a limited number of pure metals or binary alloys. However, since the first development of microfabrication technologies there have been demands for the cost-effective replication in large scale series as well as the extended range of available material. One such promising process is micro powder injection molding (PIM), which inherits the advantages of the conventional PIM technology, such as low production cost, shape complexity, applicability to many materials, and good tolerance. This paper reports on a fundamental investigation of the application of W-Cu powder to micro metal injection molding (MIM), especially in view of achieving a good filling and a safe removal of a micro mold conducted in the experiment. It is absolutely legitimate and meaningful, at the present state of the technique, to continue developing the micro MIM towards production processes for micro components.

Keywords: W-Cu, Micro metal powder injection molding, Microfabrication

1. 서 론

최근 마이크로전자기계시스템(microelectromechanical system, MEMS)에서 미세 성형품은 내부 치수가 작게는 수 마이크로미터에 이를 정도로 극소형 구조물 형태로 성형되고 있다. 이러한 극소형 구조물의 성형을 마이크로 성형(microfabrication)이라 하며 이와 관련된 마이크로시스템기술(microsystem technology, MST)에 대한 연구개발이 활발히 이루어지고 있다.¹⁻⁷⁾

마이크로 부품(micro component, miro part)을 제조하기 위해서는 다양한 형태의 기술들이 복합화되고 있으며 대표적인 것이 LIGA(lithographie, galvanoformung, abformung),¹⁻²⁾ Si micromachining, laser ablation,³⁾ 전해주조(electroforming),⁴⁾ 마이크로

캐스팅(microcasting or micro investment casting),⁵⁾ 마이크로 분말사출성형(micro powder injection molding)⁶⁾ 등의 기술이다. 특히, 3차원 형상의 금속 마이크로 부품을 제조하는 방법으로는 전해주조, 마이크로캐스팅, 마이크로 금속사출성형 기술이 있다.⁷⁾ 전해주조의 경우에는 마이크로 성형이 가능한 재료가 구리, 금, 니켈 및 니켈 합금으로 제한되며 마이크로캐스팅은 마이크로 금속사출성형과 비교하여 상대적으로 그 제조비용이 비싸고, 대량생산에 적합하지 않다는 문제점을 갖고 있다.

마이크로 금속사출성형은 기본적으로 기존 금속사출성형이 갖는 3차원의 복잡한 형상의 경제적 대량 생산, 우수한 치수 정밀도와 분말 상태의 재료에 대부분 적용될 수 있다는 특성을 지닌다. 반면에 마이

크로 금속사출성형은 기존 금속사출성형에 비해 분말, 성형 및 이형(demolding)에서 다음과 같은 차별성을 둔다. 우선 분말은 마이크로 구조물의 크기가 수 마이크로미터 이내이기 때문에 매우 균질도가 우수함과 더불어 최소 구조물의 치수보다 10배 이상 작은 입자 크기를 가져야 한다.⁸⁾ 또한 소결 후 표면의 조도를 고려한다면 되도록이면 마이크로 금속사출성형을 위한 분말은 그 입자크기가 미세할수록 좋다.⁶⁾ 둘째로 성형은 고종횡비(high aspect ratio)의 복잡한 형상의 금형내 공간을 완전히 충진시켜야 한다. 필요에 따라서 플라스틱 마이크로 사출성형에 응용되고 있는 진공사출공정(vacuum injection process; 금형 공간 내의 공기를 빼내고 진공상태에서 사출성형하는 공정)이 도입될 수도 있다. 셋째로 사출성형체의 이형은 마이크로 금형 표면적의 급격한 증가로 마찰력이 증가하여 매우 어려우며, 물리적 이형과정에서 마이크로 부품의 손상이 쉽게 일어날 수 있다. 이러한 점에서 마이크로 금속사출성형의 이형공정이 플라스틱 회생금형(lost mold)을 사용함으로써 열적, 화학적 분해과정으로 이루어진다면 마이크로 구조물을 안전하게 얻을 수 있을 것이다.⁹⁾ 이와 더불어 사출성형체의 형태 안정성을 위하여 상대적으로 높은 강도를 부여할 수 있는 결합제 시스템이 요구된다.

마이크로 금속사출성형의 회생금형은 LIGA 공정으로 제조되었다. 여기서, LIGA 공정이란 독일 칼수루헤 원자핵연구소에서 우리동 동위원소를 분리하기 위해 흠 노즐(slot nozzle)을 제작하는 과정에서 처음으로 개발되었던 공정으로 싱크로트론 방사광(synchrotron radiation)을 이용해 상대적으로 두꺼운 X-ray 감광재에 필요한 패턴을 노광, 현상한 후 전해주조, 성형을 통해 3차원 구조물을 제작하는 것이다.¹⁻²⁾ 즉, 높은 에너지의 X-ray 방사광을 사용하여 고종횡비로 감광재를 노광하고 현상하는 X-ray lithography 공정과 현상된 빈 공간을 금속으로 채우고 남아 있는 감광재를 제거하여 독립된 금속 구조물을 제작하는 전해주조 공정, 전해주조 공정으로 제조된 금속 구조물을 정밀 주형으로 이용하여 마이크로 플라스틱 제품을 만드는 주형공정으로 이루어지는 마이크로 성형기술이다.

현재까지 마이크로 성형의 원천기술이 반도체 박막기술이나 LIGA 공정 기술에 기반을 두고 있기 때문에 그 응용 가능한 재료가 극히 제한되어 있다. 그

러나, 최근에는 금속분말사출성형이나 세라믹 분말사출성형 기술을 이용하여 다양한 재료로 마이크로 부품을 제조하고자 하는 연구가 진행과정에 있다.^{9,10)} 본 연구에서는 우수한 열적, 전기적 특성으로 미소전자부품의 패키징 혹은 하우징(housing) 재료로 주목받고 있는 W-Cu 복합재료를^{11,12)} 마이크로 금속사출성형기술을 응용하여 마이크로 구조물을 제조하기 위한 예비실험을 행하였다. LIGA 공정으로 제조된 PMMA 회생금형을 이용한 마이크로 금속사출성형기술의 응용 가능성을 확인하는 관점에서 최적의 사출성형조건과 회생금형의 제거 방법에 따른 성형체의 형태 안정성에 관한 기초 자료를 얻고자 하였다.

2. 실험 방법

W-Cu 혼합분말은 상용 초미립 W 분말을 이용하여 3차원 저에너지 볼밀링 방법으로 제조하였다. W 분말은 대한중석의 평균입도 0.58 μm의 다각형이며, Cu 분말은 세력사의 평균입도 3.10 μm의 구형 분말이었다. W-30 wt.%Cu 조성으로 칭량한 분말을 플라스틱 용기에 지르코니아볼과 함께 넣은 후 3차원 혼합기에서 볼밀링하여 W과 Cu 분말을 혼합하였다. 이때, 지르코니아볼과 분말의 장입비는 무게비로 10:1로 하고 회전속도는 62회/분으로 3차원 혼합기에서 2시간 동안 밀링하였다.

W-30 wt.%Cu 분말과 결합제의 혼합은 기존 W-Cu 합금계에 적용된¹³⁾ 폴리에틸렌계의 다성분 결합제(30% Polyethylene + 45% Paraffin Wax + 15% Bees Wax + 10% Stearic Acid)를 사용하여 혼합하였다. 마이크로 금속사출성형의 회생금형은 LIGA 공정으로 제조한 고종횡비를 갖는 마이크로 각주 플라스틱 구조물이었다. 그림 1은 열가소성 아크릴 계열의 PMMA(polyethylene methylacetate)로 사출성형된 회생금형을 보여주는 것이며 금형 내의 단위 미세 각주 구조물의 크기는 157×157×500 μm³이며 벽의 두께는 50 μm로 종횡비 10의 마이크로 회생금형이다. 마이크로 사출성형은 그림 2와 같이 실린더에 정입재료(feedstock)를 넣은 후 금형을 올려 놓고 피스톤으로 압력을 가하여 성형하였다.

일반적인 금속사출성형과 다르게 마이크로 금속사출성형에서는 장입재료가 금형에 달라붙어 성형체의 이형이 곤란한 경우가 발생할 수 있다. 그림 3은 마

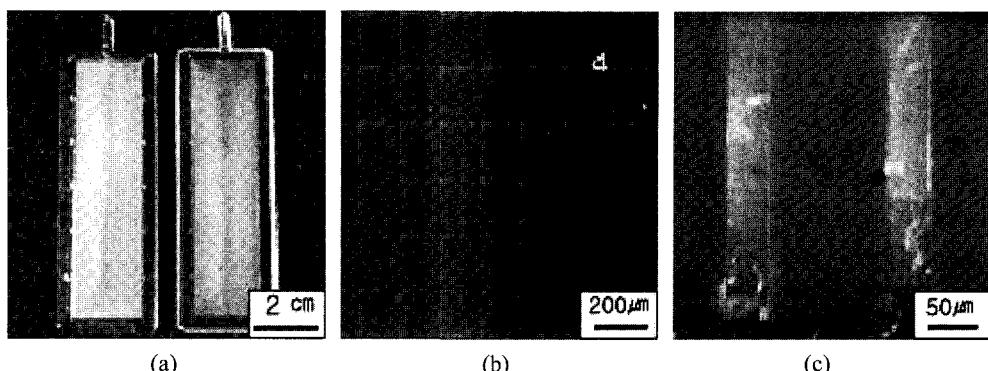


Fig. 1. Injection molding lost micro-mold made by LIGA process: (a) appearance shape, (b) surface, and (c) cross section micrographs.

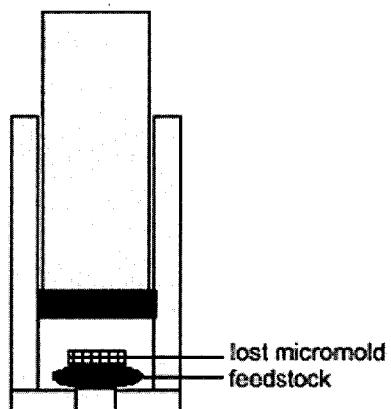


Fig. 2. Schematic description of micro injection molding.

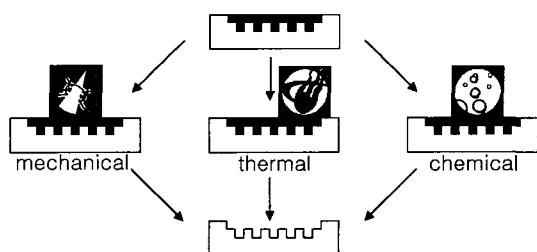


Fig. 3. Demolding procedures for micro-components.

마이크로 금속사출성형에서 성형체의 이형공정을 3가지로 분류한 것을 나타낸 것이다.⁹⁾ 기계적 이형은 마이크로 금형을 재사용할 수 있는 이점을 가지고 있다. 그러나 마이크로 구조물에 손상을 주지 않고 금형과 다이를 기계적으로 분리하여 성형체를 얻는 것은 거의 불가능하다. 반면에 금형을 용매에 녹여 내

거나 고온에서 열분해 시켜서 금형을 분리할 수 있다면 결함 없는 마이크로 구조물을 얻을 수 있는 가능성이 높아질 것이다. 본 연구에서는 마이크로 금속 사출성형한 후 성형체와 회생금형의 이형은 펀셋을 이용한 기계적 방법, 수평 관상로에서 열분해 방법, 아세톤에 녹여내는 화학적 방법으로 행하였다.

3. 실험 결과 및 고찰

그림 4는 125°C에서 혼합된 장입재료를 각각 75, 100, 125°C의 실린더에서 40 MPa의 일정한 압력으로 사출성형한 후 마이크로 금형을 펀셋을 이용하여 물리적으로 이형한 후 W-Cu 각주 배열을 형태를 나타내는 사진이다. 실린더의 온도가 75°C일 때는 마이크로 금형에 W-Cu 장입재료의 균일하고 완전한 충진이 불가능하였으나 장입재료의 점도, 즉 유동성이 유지될 수 있는 100°C 이상의 실린더의 온도에서 완전한 충진이 가능하였다. 즉, 500 μm 높이의 각주 마이크로 금형에 W-Cu 장입재료를 완전히 충진 시킬 수 있는 사출공정은 장입재료 온도가 125°C 일 때 100°C 이상의 실린더 온도와 40 MPa의 성형압이었다. 그리고, 마이크로 구조물을 물리적으로 금형에서 이형시키는 것이 쉽지 않아 대부분의 마이크로 각주가 금형에 붙어서 이형되어 일부만 남아 있는 것을 알 수 있다.

그림 5는 마이크로 금형으로 W-Cu 각주를 사출성형한 후 금형의 이형을 결합제 제거를 고려하여 기존 결합제 제거 공정을¹³⁾ 통하여 열분해 한 후 관찰한 것이다. 마이크로 금형의 이형과 결합제 제거를

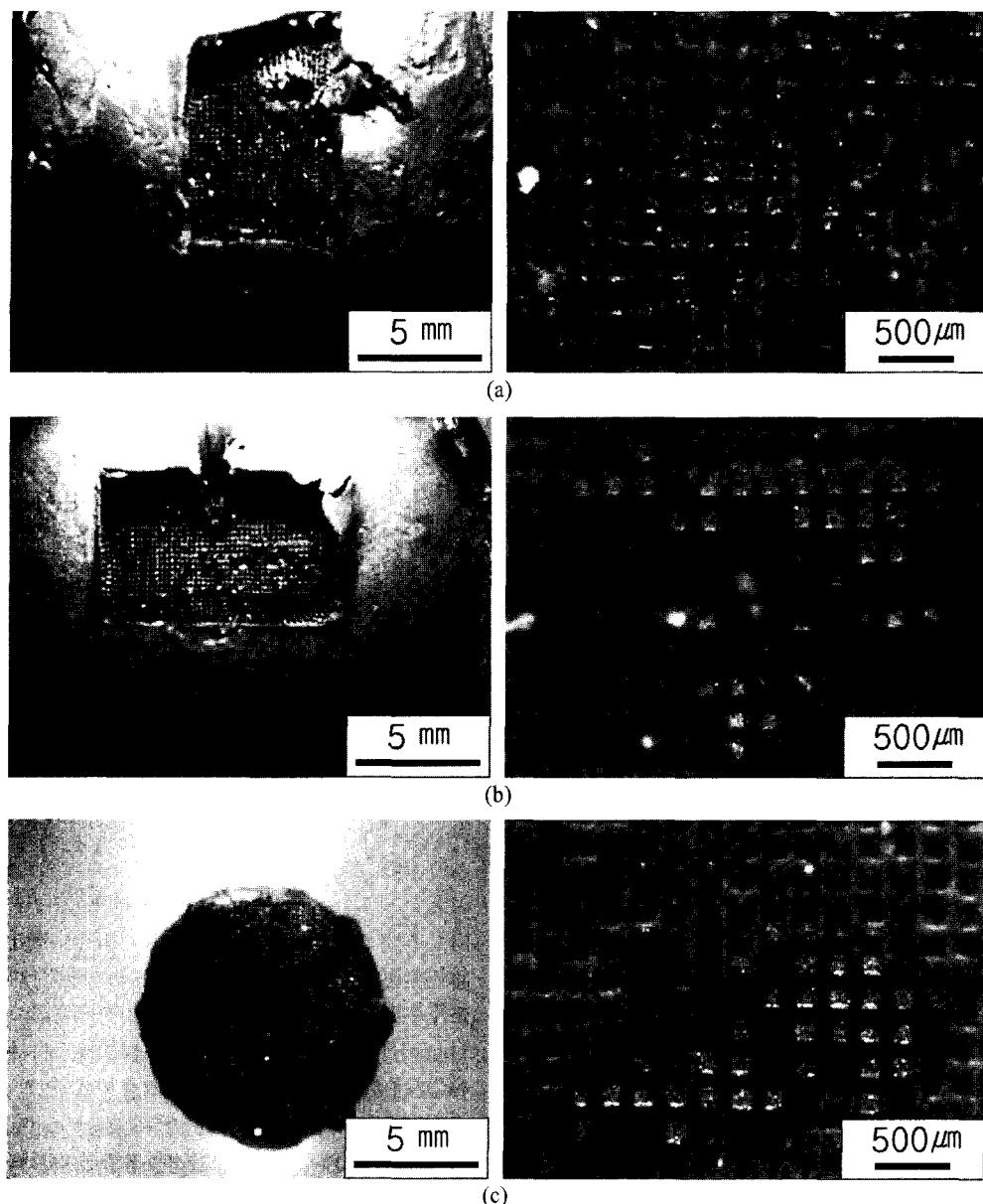


Fig. 4. Micrographs of an W-Cu column array after injection molding as a function of cylinder temperature. (a) 75°C, (b) 100°C, and (c) 125°C.

동시에 행한 후 관찰한 결과이다. 그림에서 보는 바와 같이 W-Cu 각주 배열의 상당 부분이 무너져 있음을 확인할 수 있었다. 무너지지 않은 W-Cu 각주 배열도 열분해로 이형 및 결합재 재거가 동시에 일어났기 때문에 각각의 각주 가장자리가 불완전한 형상을 나타내고 있다. 즉, 열분해를 통한 플라스틱 금

형의 재거는 PMMA의 열분석을 결과와 기존 결합재 열분석 결과를 함께 고려하여 새로운 이형 및 결합재 재거 공정을 통하여 가능할 것이다. 현재 열분해 공정에 대한 실험을 진행하고 있다.

그림 6은 마이크로 금형으로 W-Cu 각주를 사출성 형한 다음에 PMMA 금형을 아세톤으로 제거한 것을

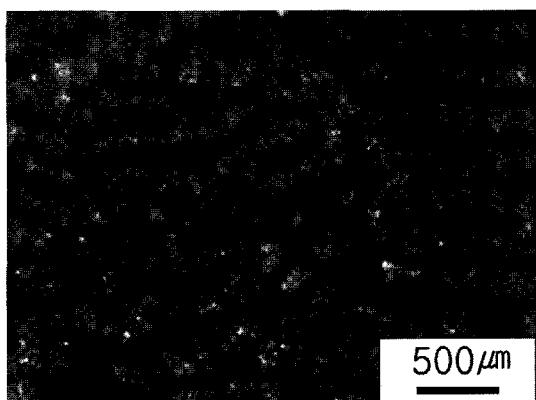


Fig. 5. Micrograph of the brown parts showing the regular and broken column array.

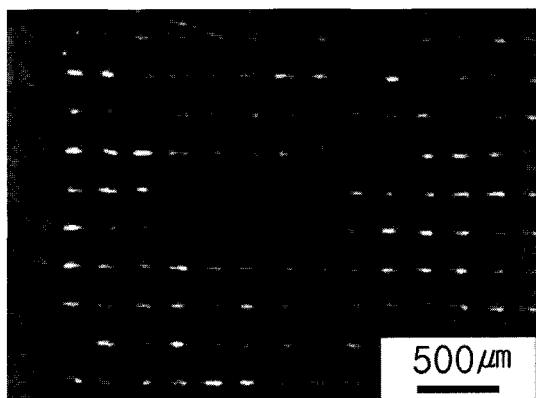


Fig. 6. Micrograph of W-Cu column array after a chemical de-molding by solving the PMMA micro mold in acetone.

나타내는 것이다. 사출성형은 장입재료 온도 125°C, 실린더 온도 100°C에서 40 MPa의 성형압으로 행하였다. 그림에서 보는 바와 같이 앞선 기계적 방법이나 열분해 방법으로 희생금형을 제거하는 것보다는 우수한 이형결과를 나타내고 있다. 즉, 500 μm 높이의 마이크로 W-Cu 각주가 일렬로 잘 배열되어 있는 것을 관찰할 수 있다. PMMA 희생금형으로 금속사출성형된 마이크로 부품의 이형은 아세톤을 이용하여 PMMA를 녹여내는 것이 가장 적합한 방법이라고 판단된다. 그러나, 원형으로 표시된 부분의 각주는 가장자리가 완전히 충진되지 못하였다. 이는 사출성형 과정에서 각주 금형 끝부분에 공기가 갇혀서 일어날 수 있는 현상으로 판단된다. 마이크로 플라스틱 금속사출성형 기술에 응용되는 진공사출성형 기술을 이

용한다면 금형내 갇힌 공기에 의한 불완전한 충진을 해결할 수 있을 것이다.

4. 결 론

본 연구에서는 금속분밀사출성형 기술을 이용하여 W-Cu 마이크로 부품을 제조하기 위한 기초실험을 행하였다. 마이크로 금속사출성형에서 최적의 사출성형 조건과 PMMA 희생금형의 제거 방법에 따른 성형체의 형태 안정성에 관하여 조사하였다. 마이크로 금형에 W-Cu 장입재료를 완전히 충진시킬 수 있는 사출 공정은 장입재료 온도가 125°C 일 때 100°C 이상의 실린더 온도와 40 MPa의 성형압이었다. PMMA 희생금형으로 금속사출성형된 마이크로 부품의 이형은 열분해 방법으로 제거하는 것 보다는 아세톤을 이용하여 PMMA를 녹여내는 것이 우수한 이형결과를 나타내었다.

감사의 글

본 연구는 2001년 산업자원부의 유망 전자 부품 기술 사업(Electro-0580 사업) 지원으로 연구되었으며, 이에 감사드립니다.

참고문헌

- E. Becker, W. Bier, W. Ehrfeld, and D. Münchmeyer: Kernforschungszentrum Karlsruhe GmbH, (1982).
- D. W. L. Tolfree: Microsystem Technologies, **4** (1998) 51.
- W. Pfleging, V. Piotter, and H. Besser: ECLAT -1998, Achen (1998).
- A. Thies, V. Piotter, J. H. Hausselt, and O. F. Hagena: Microsystem Technologies, **4** (1998) 110.
- G. Baumeister, K. Mueller, R. Ruprecht, and J. Hausselt: Microsystem Technologies, **8** (2002) 105.
- V. Piotter, W. Bauer, T. Benszler, and A. Emde: Microsystem Technologies, **7** (2001) 99.
- R. Ruprecht, T. Benzler, T. Hanemann, K. Müller, J. Konys, V. Piotter, G. Schanz, L. Schmidt, A. Thies, H. Wöllmer, and J. Hausselt: Microsystem Technologies, **4** (1997) 28.
- Z. Y. Liu, N. H. Loh, S. B. Tor, K. A. Khor, Y. Murakoshi, and R. Maeda: J. of Materials Science Letters, **20** (2001) 307.
- W. Bauer, H. J. Ritzhaupt-Kleissl, and J. Hausselt:

- Ceramics International, **25** (1999) 201.
10. W. Bauer, H. J. Ritzhaupt-Kleissl, and J. Hausselt: Microsystem Technologies, **4** (1998) 125.
11. 문인형: 한국물리학회지-새물리, **38** (1998) 243.
12. Frank Petzoldt, Matthias Knuwer, Karl-Heinz Wichmann and Nicola De Cristofaro: Adv. in powder Metall. & Particulate Mater.-2000, New Orleans, **4** (2001) 4-118.
13. S. W. Kim, J. S. Ryu and I. H. Moon: Adv. in powder Metall. & Particulate Mater.-2000, New York, **4** (2000) 4-101.