

반복압출 공정을 이용한 금속분말의 미세조직 제어

김정곤 · 최한신^a · 김택수^{a,*}
시립인천전문대학, ^a한국생산기술연구원

Microstructure Control of Mg Alloy Powder Using a Repeated Extrusion Process

Jeong-Gon Kim, Han-Shin Choi^a and Taek-Soo Kim^{a,*}

Incheon City College (ICC), Dowha-dong, Incheon, Korea

^aKorea Institute of Industrial Technology (KITECH), Songdo-dong, Incheon, Korea

(Received November 6, 2009; Revised November 27, 2009; Accepted December 9, 2009)

Abstract Mg-Cu composites were successively fabricated using a combination of rapid solidification and extrusion processes. In addition, the microstructural variation of the composite was investigated by performing the extrusion repeatedly. It resulted that the composite formed an uniform and dense structure by the extrusion, and the microstructure became fine as the extrusion conducted repeatedly. The microstructural variation was known to be dependent on the number of extrusion and the area reduction ratio. The tensile strength was also measured as a function of the microstructural variation.

Keywords : Mg alloy composites, Multi-extrusion, Rapid solidification, Microstructure control

1. 서 론

마그네슘합금은 상용 구조재료 중에서 가장 가볍고 비강도가 우수하여 유사한 밀도를 갖는 고분자 복합소재를 대체할 수 있으며, 기계가공성 및 주조성이 우수하고 진동 및 충격에 대한 흡진성, 전자파 차폐능이 우수하여, 항공 및 자동차와 같은 수송산업이나 전자통신, 레저 스포츠용품 분야에 폭넓게 적용할 수 있다[1-2]. 그러나 고유의 낮은 강도와 내식성은 마그네슘 합금의 산업적용에 많은 제한요인으로 작용하고 있어서, 최근에는 마그네슘 합금의 기계적 특성을 향상시키고, 적용분야를 확대하기 위해 다양한 연구가 진행되고 있다. 그 대표적인 예가 미세조직의 제어를 통한 특성의 개선이라 할 수 있는데, 이는 미세조직이 재료의 강도와 내마모성 및 인성 등과 같은 기계적 성질들을 결정하는 핵심요소 중의 하나이기 때문이다. 결정

립 미세화 방법으로는 기계적합금공정과 분말야금 공정 등을 보편적으로 활용하고 있지만, 최근에는 30-40 μm 의 결정립 크기를 갖는 마그네슘합금을 강 소성가공법(SPD : severe plastic deformation)을 통해 10-15 μm 로 미세화 시켜 기계적 특성을 현저히 향상시킨 연구결과가 보고되었다. 또한 급속응고법을 통해 3 μm 이하의 결정립 크기를 갖는 마그네슘 합금분말을 제조한 후 이를 다시 압출 공정을 실시하여 기존의 결과보다 기계적 특성을 현저히 개선한 연구결과가 발표되기도 하였다[5]. 하지만 최근에는 이러한 방법들을 응용한 새로운 연구가 시도되고 있는데, 압출공정을 반복할 경우 미세조직을 더욱 효과적으로 디자인할 수 있다는 연구결과가 보고되고 있다[7, 8].

본 연구는 고강도 경량마그네슘 복합재료를 제조하기 위한 기초실험으로서, 반복압출공정을 실이용한 복합화 및 조직미세화를 실시하였다. 이때, 복합재료

*Corresponding Author : [Tel : +82-32-850-0409; E-mail : tskim@kitech.re.kr]

의 마그네슘 상대원소로서 Cu를 캔의 형태로 사용하였는데, 이는 핵심공정인 반복압출성을 최대로 확보하기 위해서는 경량재료로서 한계는 있지만 소성유동성이 우수한 Cu를 사용하였으며, 1-5회 반복압출을 통해 제조된 Mg-Cu복합재의 미세조직 변화 및 기계적 특성변화에 대해 고찰해 보았다.

2. 실험방법

마그네슘 합금분말을 제조하기 위해 master alloy를 유도가열하여 5 mm의 용탕공급 노즐이 부착되어 있는 gas atomizer 장치의 용해챔버에서 재용해(remelting) 한 후 가스 분무하여 마그네슘 합금분말을 제조 하였다. 이때 노즐크기와 분무압력은 5 mm와 2 MPa 였으며, 분사가스는 대표적인 불활성 물질인 Ar을 사용하였다. 용해 온도는 충분한 용탕 유동도를 가지도록 합금의 용점보다 200°C 높은 온도를 유지하였다. 제조된 분말은 Cu캔(Φ30, T1.5 mm)에 장입한 후 탈가스(degasing) 공정을 거쳐 10:1의 압출비로 300°C 에서 열간 압출하였다. 제조된 마그네슘합금 Rods는 압출 방향으로 40 mm 부근을 절단 후 다시 Cu캔에 장입하여 동일한 압출조건으로 총 5회를 반복 실시하였다. 반복압출에 의한 미세조

직의 변화는 주사전자현미경(SEM; JSM 5410)을 통해 관찰하였으며, 기계적 특성을 관찰하기 위해 인장 시험을 실시하였다.

3. 결과 및 고찰

그림 1은 반복 압출을 통해 제조된 Mg-Cu 복합재료의 단면을 관찰한 것이다. 1차 압출을 하였을 경우(그림 1-a), 약 8.2 mm의 마그네슘모재 외벽에 1.0 mm의 Cu캔으로 둘러싸인 형태를 가지고 있었다. 압출횟수가 2회에서 5회까지 증가할수록 마그네슘 및 Cu 캔은 점점 미세화되었고, 최종 5회의 반복압출을 거칠 경우 (e)에서 보는 것과 같이 1회 때 약 8.2 mm의 마그네슘모재는 분할되어 110 μm의 미세한 구조를 갖고 있었으며, 전체적으로 마그네슘모재와 Cu캔이 균일하게 분포된 조직으로 형성되어 있었다. 일반적으로 압출을 통한 조직의 미세화는 압출비의 함수로만 제어되지만, 반복압출을 통해서도 제어할 수 있다. 결과적으로 압출비 및 압출횟수의 조절을 통하여 마그네슘모재의 최종 미세조직을 제어할 수 있는 것이다. 이를 설명하기 위해 아래의 계산식을 이용하여, 실험을 통해 얻어진 실측 결과 값과 비교 하였다.

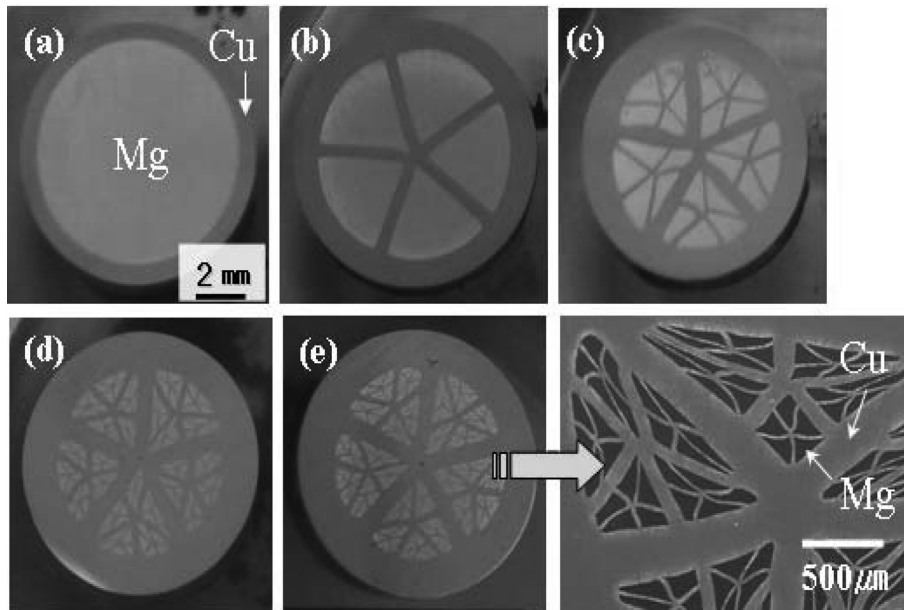


Fig. 1. Photos taken from and SEM micrographs of the Mg-Cu composite body at transverse direction of extrusion; (a) first-, (b) second-, (c) third-, (d) fourth- and (e) fifthpass extruded bars.

Table 1. Resultant diameter of extruded bar calculated and measured with the number of extrusion

Pass of extrusion	1	2	3	4	5
Calculated (mm)	8.54	2.70	0.85	0.27	0.09
Measured (mm)	8.21	2.91	0.99	0.44	0.11

$$r_n = r_{n-1} / R^{1/2} \quad (1)$$

여기서, R 은 압출비, r_n 은 n 번 압출하였을 경우 시편의 반지름을 뜻하며[8], 위의 식을 이용하여 실제 반복압출 후 예상되는 미세조직의 크기를 알 수 있다. 표 1은 위의 식을 이용하여 실험과 동일한 빌렛 사이즈 및 압출비로 계산된 마그네슘합금 rod의 반복압출에 따른 미세조직의 크기를 예상한 것이다. 표로 나타낸 바와 같이 실험과 동일한 조건(빌렛 사이즈 및 압출비)으로 계산한 마그네슘합금 모재의 예상 직경은 1차 압출재의 경우 8.54 mm가 됨을 알 수 있고, 압출의 반복에 따라 2회 실시할 경우 2.70 mm, 3회시 0.85 mm, 4회시 0.27 mm, 5회시 0.09 mm까지 그 크기가 미세해짐을 예측할 수 있다. 계산법으로 통해 얻어진 결과와 실험결과를 상호 비교하여볼 때, 마그네슘모재의 직경의 변화는 약 $\pm 5\%$ 이내의 오차가 있음을 알 수 있다. 이러한 오차는 마그네슘 압출재와 Cu캔의 소성유동 차이 및 반복 압출을 위해 절단한 압출재를 Cu캔 속에 장입 시 형성되는 빈공간이 그 원인이라 생각된다. 반복 압출에 의한 미세조직의 변화를 좀더 구체적으로 고찰하기 위해 계산식을 이용하여 그림 2로 나타내었다. 그 결과, 6차 7차 압출 시 각각 30 μm , 9 μm 로 마그네슘모재가

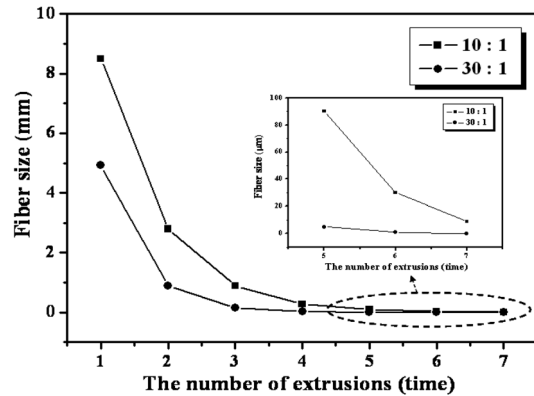


Fig. 2. Calculation of fiber as a function of the extrusion number and extrusion ratio.

미세해 짐을 예측할 수 있었고, 압출비가 30:1로 증가 할 경우 10:1의 압출비에 비해 더욱 미세화된 약 100 nm의 마그네슘모재를 가질 수 있을 것으로 예상할 수 있다. 그림 3은 1차 및 2차 반복 압출 실시한 마그네슘모재의 결정립 크기를 나타낸 것이다. 2차 압출을 실시하였을 때 1차 압출 시 25 μm 크기의 결정립이 8.33 μm 로 줄어들었음을 확인할 수 있었는데, 이는 약 80%에 해당하는 크기 감소이다. 그리고 또한 미세조직이 fiber 형태로 유지되는 것을 확인할 수 있었다. 이러한 결과들을 종합적으로 미루어 보았을 때, 압출횟수와 압출비의 조절이 가능할 경우 목표 크기의 미세조직을 제어할 수 있을 것으로 판단된다. 그림 4는 압출횟수에 따른 상온 인장거동을 계산식을 통해 예측[■- calculated] 및 실측[-●- measured]한 자료와 캔의 소재를 Cu가 아닌

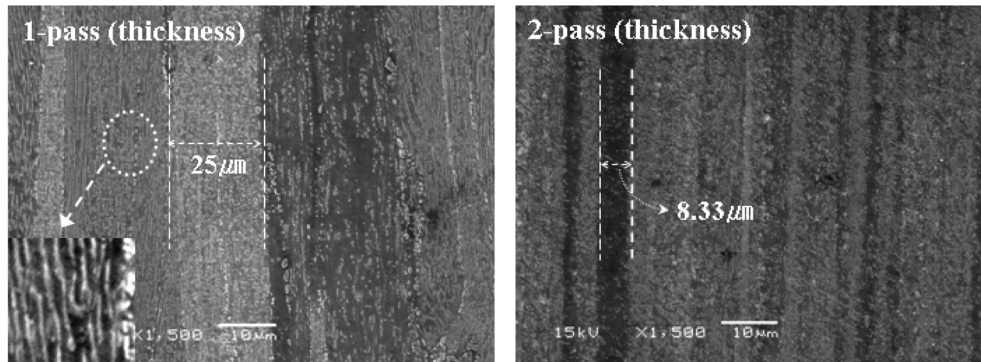


Fig. 3. The microstructure of extruded Mg fiber against the number of extrusion pass; longitudinal direction of (a) first- and (b) second-, extruded bars.

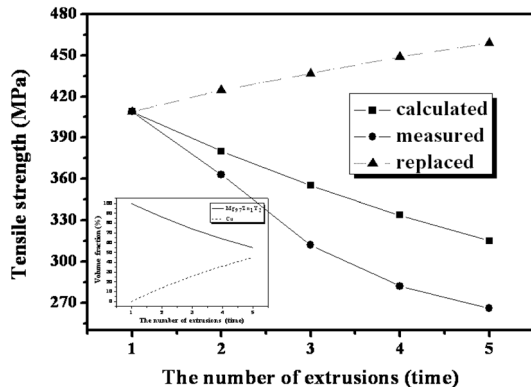


Fig. 4. Comparison among calculated, measured and replaced values of Mg-Cu composites against the number of extrusion passes.

Al으로 대체 했을 경우[-▲- replaced] 예상되는 기계적 특성을 비교하여 나타낸 것이다. 기존 문헌들을 통해 알려진 마그네슘합금[5]과 Cu의 인장강도는 각각 409 MPa, 200 MPa이며 혼합법칙을 통해 계산하였다. 인장강도는 반복 압출을 거치면서 상대적으로 낮은 강도를 보이며, Cu의 volume이 증가함에 따라 감소하는 것을 알 수 있었고, 계산치 및 실측치는 다소 차이가 있긴 하지만 유사한 경향을 가지는 것을 확인할 수 있었다. 이러한 차이는 표 1에서 언급한 바와 같이 각 재료들 사이 소성 유동 및 재장입시 빈공간이 그 원인이라 생각되기 때문에 이를 잘 제어한다면 유사한 결과 값을 얻을 수 있으리라 생각된다. 또한 Cu계열의 캔을 Al계열로 대체 하였을 경우, 매우 우수한 기계적 특성을 보이는 것을 예측할 수 있었다. 따라서, 본 실험을 통해 캔과 분말의 금속학적 적합성을 고려하여 캔의 소재를 다양화할 경우 압출횟수가 증가함에 따라 마그네슘의 기계적 특성을 현저히 증가시킬 수 있는 효과적인 방법이 될 것으로 예상된다.

4. 결 론

가스분무공정을 통해 제조된 마그네슘합금 분말과 Cu캔을 사용하여 10:1의 압출비로 반복압출하여, 치

밀하고 조직의 미세화가 수반된 Mg-Cu 복합재료를 성공적으로 제조하였다. 압출이 반복됨에 따라 30 mm 이었던 빌렛의 직경이 1차 압출 후 8.54 mm로 감소되었고, 2차 압출 후에는 2.70 mm, 3차 후 0.85 mm, 4차 후 0.27 mm, 본 실험의 마지막 압출인 5차 후에는 90 μ m가 됨을 알 수 있었다. 복합재의 형상은 마그네슘을 Cu가 균일하게 둘러싸는 형태를 이루고 있었다. 인장강도는 압출 횟수가 증가함에 따라 감소하는 경향을 보였는데, 이는 Cu캔의 분율의 증가에 의한 것으로, 캔과 마그네슘합금 분말의 금속학적 적합성을 충분히 고려하여 캔의 소재를 선택할 경우 반복압출을 통한 결정립 미세화 효과 및 복합재료로서의 기능을 통해 마그네슘의 기계적 특성을 향상시킬 수 있을 것으로 판단된다. 본 연구결과를 바탕으로 중원소인 Cu 대신 Mg 또는 Al소재를 활용한 경량 고강도 Mg 복합재를 제조할 예정이다.

감사의 글

본 연구는 2009년도 인천전문대학 교내연구비 지원에 의해 수행되었습니다

참고문헌

- [1] S.H. Kim, D.H. Kim and N.J. Kim: Mater. Sci. Eng. A, **226** (1997) 1030.
- [2] M. Suzuki, T. Kimura, J. Koike and K. Maruyama: Scripta Mater., **48** (2003) 997.
- [3] A. Singh, M. Watanabe, A. Kato and A.P. Tasi: Mater. Sci. Eng. A, **385** (2004) 382.
- [4] D.H. Bae, S.H. Kim, W.T. Kim and D.H. Kim: Mater. Trans., **42** (2001) 2144.
- [5] T-S. Kim, H.J. Chae, J.K. Lee, H.G. Jung, Y.D. Kim and J.C. Bae: Mater. Sci. Forum, **534** (2007) 793.
- [6] J.K. Lee, T.S. Kim, H.G. Jeong and J.C. Bae: Mater. Sci. Forum, **534** (2007) 833.
- [7] S. Baskaran, S. D. Nunn, D. Popovic and J. W. Halloran: J. Am. Ceram. Soc., **76**(9) (1993) 2209.
- [8] T-S. Kim, T. Goto, B.T. Lee: Scripta Mater., **52** (2005) 725.