

Al-7.5%Mg 나노 벌크소재의 정수압 압출특성에 관한 연구

윤창용*(경희대), 이경엽(경희대), 이상목, 박훈재, 박진호, 김응주(한국생산기술연구원)

A Study on the Hydrostatic Extrusion Characteristics for Al-7.5%Mg nano-grained bulk material

C. Y. Yoon(Mech. Eng. Dept., KHU), K. Y. Rhee(Mech. Eng. Dept., KHU)
S. M. Lee, H. J. Park, J. H. Park, Y. J. KIM(Korea Institute of Industrial Technology)

ABSTRACT

This paper accomplished the basic research using the hydrostatic extrusion to make the nano-grained bulk material. It was carried out a hot hydrostatic extrusion using the hiped bulk Al-7.5%Mg that was taken from University of California, Davis. in order to investigate the effect of the hot isostatic extrusion. The tensile tests for the hiped bulk Al-7.5%Mg and the extruded one was executed and the results was compared.

Key Words : Nano-grained(극미세 결정립), Bulk Material(벌크소재), Hydrostatic Extrusion(정수압 압출)

1. 서 론

나노 벌크소재란 수십에서 수백 나노 스케일의 결정립이 불규칙적 3차원 배열구조를 갖는 다결정 구조체로서 기존의 마이크로 단위의 결정립을 갖는 전통재료에 비하여 많은 결정립계가 존재하며, 또한 많은 원자들이 결정립계 부근에 존재하게 되어 기존의 소재에 비하여 월등한 특성을 나타낸다. 이러한 특성에는 초소성(Superplasticity), 고강도(High Strength), 고인성(High Toughness), 높은 전기비저항, 낮은 열전도도, 우수한 전자자기적 특성 등이 있다. 나노 벌크 소재의 이러한 기계적 기능적 특성은 제품의 소형화, 경량화, 다기능화, 고강도/고기능화 추세에 적합하여 레이저용품 기계/수송기 부품, 전기 전자용 부품 등 산업전반에 적용이 가능하므로 산업체, 연구소, 학교 등 여러기관

에서 전세계적으로 다양한 제조방법이 개발되고 있다.

나노벌크소재의 부품화공정기술은 크게 나노 벌크소재 제조기술과 성형공정기술로 요약되며 다시 결정립 미세화 기술과 입자의 체적화 기술로 나뉘어 진다.

본 연구에 사용된 결정립 미세화 기술은 저에너지 극저온 분쇄기술(Low Energy Cryogenic Milling Technology: LECMT)로서 밀링용기 안에 극저온 매체를 타겟 금속분말과 직접 접촉하여 금속의 취성을 최대화하고 연속적인 분쇄볼의 충격에 의해 내부변형을 발달시켜 소재의 미세구조를 수십나노크기로 결정립화하는 기술이다.

나노분말의 체적화공정은 등방압공정, 초고압 압축성형 공정, 방전소결 공정, 압출 및 압연 공정 등을 이용하여 극미세결정립 벌크소

재의 특성인 고강도, 고인성 및 기타 기능적 특성을 갖는 미세구조를 파괴하지 않으면서 벌크화 할 수 있는 공정으로 최적화하는 것이 관건이다.

본 연구에서는 University of California, Davis에서 제공받은 Hot Isostatic Press(HIP)장비를 이용한 1차 치밀화공정 후 Al-7.5%Mg 나노 벌크소재를 정수압압출에 의해 최종 치밀화 공정을 수행하였고, 시편의 인장시험을 실시하여, 압출 전후의 기계적 성질을 비교하였다.

2. 시험장치 및 방법

2.1 시험장치

압출시편은 UCD에서 제공받은 HIP공정을 거친 Al-7.5%Mg 나노 벌크소재를 압출용 형태로 가공하였고, 시험에 사용된 정수압 압출기는 최대 유압150Ton, 최대온도 400℃의 환경까지 사용할 수 있다. Fig.1은 정수압 압출기의 측면 사진이며, 시험에 쓰인 압출시편과 금형조건은 Table.1과 같다.

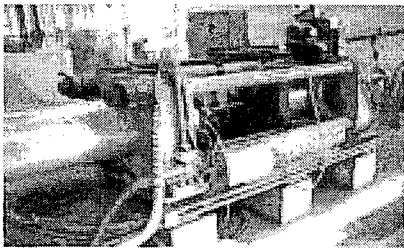


Fig.1 Hot Hydrostatic Extruder

Table.1 Dimension of Billet and Die

Billet dimension (mm)	Al-7.5%Mg
	$\phi 35 \times 100$
Dimension of die hole (mm)	$\phi 12$
Semi-die angle (deg)	45
Extrusion ratio	9:1
Working temperature	350℃

압출봉재의 치수는 직경이 35mm이고 길이는 185mm로 하였고, 350℃ 환경에서 압출비 9:1로 실시하였다.

인장시험에 사용된 장비는 MTS-810 재료시험기(Fig.2 참조)로 최대 10Ton 로드셀을 사용하였고, 고온용 신율계 (High Temperature Extensometer : Gauge Length 12mm) 를 사용하였다.

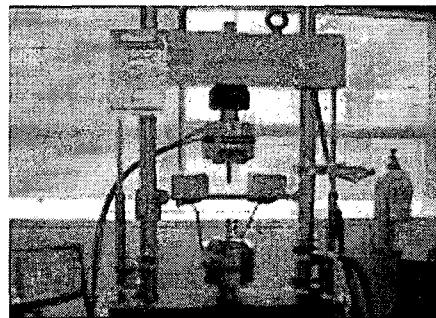


Fig.2 Material Testing Machine

2.2 시험방법 및 조건

2.2.1 정수압 압출공정

정수압 압출공정은 다음과 같다.

1. 정수압 컨테이너 예열 (350℃) - 장비전체의 충분한 예열을 위해 10시간정도 유지.
2. 시편과 금형준비-금형과 소재의 접촉부에 이물질 제거하고, 윤활제를 분사하여 피막을 형성시킴.
3. 금형과 소재를 컨테이너 안에 넣고 압력유체를 넣는다. 압력유체로는 선형저밀도 폴리에틸렌수지(LLDPE)를 사용하고 이것을 계산된 양만큼 컨테이너 안에 넣고, 충분히 녹을 때까지 20분 정도 기다린다.
4. 안전장비를 갖추고 데이터 취득을 시작하고, 메인램을 전전시킨다.
5. 압출 완료 후 데이터 취득을 종료한다.

3. 시험결과 및 고찰

2.2.2 인장시험

시험은 인장 및 압축 시험 모두 각각 상온, 100, 200, 300℃에서 변형률 10⁻³/sec에서 실시하였다. 테스트 속도는 변형률과 연신을 사이의 관계식을 사용하여 계산하였다.

$$\epsilon = \ln \frac{l}{l_0}$$

$$\dot{\epsilon} = \frac{\dot{l}}{l}$$

$$\dot{l} = \dot{\epsilon} l \quad (1)$$

식(1)에 Gauge Length를 적용하면 인장시험의 경우 인장속도는 0.72mm/min이다. 고온 인장시험의 경우 재료시험기에 부착되어있는 Furnace를 사용하였으며 온도상승률은 PID 컨트롤러에서 1℃/sec으로 세팅하였다.

Overshoot Rate는 약 ± 5℃이며 Holding Time은 시편 자체의 열팽창이 Saturation 되는 약 15분이기 때문에 이 이후에 인장 시험을 실시하였다. Fig.3 는 300℃고온인장시험을 시작하기 전에 열팽창상태에 도달하기까지의 온도상승에 따른 열팽창특성을 나타낸다.

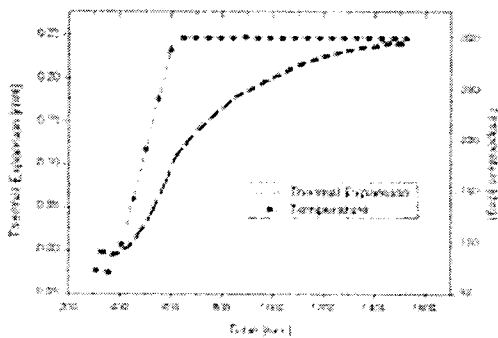


Fig.3 시험전 온도상승에 따른 열팽창특성 곡선

정수압 압출 공정 전후의 시편은 Fig.4와 같다. 원소재 직경이 36φ에서 12φ로 줄었으며 압출된 시편의 표면조도가 매우 양호해 졌고, 시편을 가공함에 있어 가공성도 향상되었다.

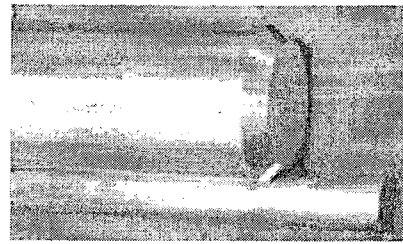


Fig.4 압출 전후의 Al-7.5%Mg시편

구체적인 기계적 물성변화는 상온 및 고온에서의 Strain-stress그래프 Fig.5와 Fig.6에 나타내었다.

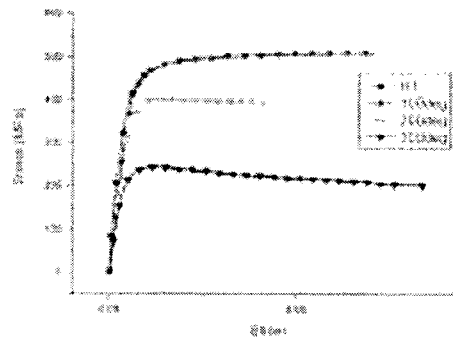


Fig.5 Hipped Al-7.5%Mg 의 engineering strain vs. stress curve

상온에서의 항복 강도는 429 MPa으로 측정되었으며, 시험 온도 증가에 따라서 항복강도 또한 감소하여 300℃에서는 약 219 MPa로 상온의 50% 까지 감소하였다. Hipped Al-7.5%Mg의 연신율을 살펴보면 상온에서 약 4.5%의 매우 낮은 연신율을 보이는 반면 시험 온도가 증가함에 따라 연신율 또한 상당히 증가하여 300℃의 경우 약 50%의 연신율을 보이고 있어 고온성형시의 formability의 용이함을 보여주고 있다.

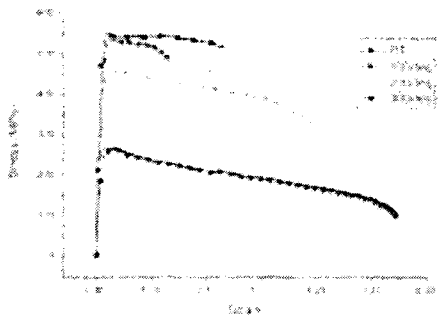


Fig.6 정수압 압출후 Hipped Al-7.5%Mg의 engineering strain vs. stress curve

정수압 압출후 Al-7.5%Mg의 인장특성을 보여 준다. 최대인장강도의 경우 상온에서 553 MPa를 가지며 이는 Hipped Al-7.5%Mg의 인장강도보다 약 18%나 증가하였다. 고온시험의 경우도 100℃, 200℃, 300℃에서 각각 6%, 14%, 8%씩 증가하여 전체적으로 재료강도의 증가를 가져왔다. 또한 연신율도 전체적인 증가를 가져와 300℃에서 80%의 연신율을 보였다.

4. 결 론

항복강도를 보면 정수압 압출된 Al-7.5%Mg은 나노벌크소재인 n-Al-7.5%Mg과 비교하여 약 1.6배 증가하였다. 연신율 또한 매우 좋은 결과를 보여주고 있다. Hipped Al-7.5%Mg은 인장 시험 결과 상온에서 약 4.5%의 연신율을 보였으며 정수압 압출후 획득된 Al-7.5%Mg은 연신율이 약 16%로 등방 가압후 보다 약 400% 증가하였다. 또한 정수압 압출후 획득된 연신율은 상용 Al-7.5%Mg의 그것과 같으므로 매우 높은 연신율을 보여준다. 즉 강도는 약 4.2배 정도의 증가를 가져왔음에도 불구하고 그 연성은 상용 합금과 같은 특성을 유지하고 있는 것이다.

후 기

본 연구는 산업자원부가 지원하고 있는 2010 생산기반 혁신기술 개발 사업 중 한국생산기술연구원이 주관하고 있는 “초기능 극미세 결정

립 금속 구조체 제조 및 성형기술 개발사업.”의 세부과제로서 수행중이며 이에 감사드립니다.

참고문헌

1. Robertson, J.(1984), British Patent No.19,356, October 14, 1893, U.S. Patent No.524,540, August 24.
2. Pugh H.L.I.D.(1965), "Mechanical Behavior of Materials under Pressure", Science Publishers, London
3. N. Inoue, M. Nishihara(1985), "Hydrostatic Extrusion Theory and Applications", Science Publishers, London
4. M.Jain and T.Christman:Acta Metall., 1994, vol. 42, pp1901-1911
5. T.Mukai, K.Ishikawa, and K. Higashi: Mater.sci.Eng., 1995, vol A204, pp.12-18
6. F.Zhou, X.Z.Liao, Y.T.Zhu, S.Dallek and E.J.Lavernia, Acta Master., 51(2003)2777.
7. D.J.Skinne, M.S.Zalis and P.Gilman, Mat.Sci.Eng., A119(1989)81