

# 압출온도가 Al-78Zn 합금화 분말의 열간압출시 기계적 성질에 미치는 영향

## Effects of the Temperature on Mechanical Property of Al-78Zn Alloyed Powder in Hot Extrusion

\*김진우<sup>1</sup>, 이경훈<sup>2</sup>, 황대원<sup>2</sup>, 이정민<sup>3</sup>, 고대철<sup>4</sup>, #김병민<sup>5</sup>

\*J. W. Kim<sup>1</sup>, K. H. Lee<sup>2</sup>, D. W. Hwang<sup>2</sup>, J. M. Lee<sup>3</sup>, D. C. Ko<sup>4</sup>, #B. M. Kim(bmkim@pusan.ac.kr)<sup>5</sup>  
<sup>1</sup>부산대학교 하이브리드소재솔루션협동과정, <sup>2</sup>부산대학교 정밀가공시스템, <sup>3</sup>한국국제대학교 자동차공학과, <sup>4</sup>부산대학교 ILIC, <sup>5</sup>부산대학교 기계공학부

Key words : Al-78Zn, Powder Extrusion, Micro gear

### 1. 서론

일반적인 분말압출 공정에서 Die 반각, 압출온도, 압출 속도, 압출비, 분말의 입도와 같은 다양한 공정 변수가 있다. 이중 제품특성에 가장 큰 영향을 주는 것은 압출속도와 압출온도이다. 압출속도는 실 산업현장에서 생산성과 직접적인 연관이 되는 부분이며 압출 온도는 실질적인 제품의 기계적 성질을 결정하는 중요한 변수이다.<sup>[1,2]</sup> 일반적인 압출의 경우 빌렛이 컨테이너 내부를 이동할 때 발생하는 커다란 마찰저항에 의해 빌렛 외부의 유동이 중심부보다 지체되는 경향이 나타나고 이로 인해 표면 크랙(crack)과 같은 결함이 발생한다. 이러한 결함을 방지하기 위해 압출 속도를 줄이거나 압출온도를 조절한다. 이는 열간에서 재료의 변형에 대한 저항이 낮아지기 때문이다.

본 논문에서는 유성형 볼밀(Planetary Mill)을 이용하여 다양한 볼밀시간에 따라 Al-78Zn 분말을 제조하였으며 제조된 분말을 이용하여 스퍼 기어를 제조하는 열간 압출 실험을 하였다. 압출 하중, 비커스(Vickers)경도 측정 및 저배율 현미경을 이용한 표면 크랙 관찰 등을 통하여 압출된 스퍼 기어의 기계적 특성을 분석하였다.

### 2. 실험

Fig. 1 실험의 개략도이며, 본 연구에서는 기계적합금화 공정을 통해 초소성 합금분말 중 하나인 Al-78Zn을 제조하였으며 볼밀 조건은 Table 1(a)과 같다<sup>[3-5]</sup>. 제조된 합금분말은 MTS 사의 만능재료시험기를 이용하여 냉간 양축 압축 금형에 장입 후 30kN로 가압하여  $\phi 4.8 \times 9.6$  mm 크기의 빌렛(Billet)으로 제조되었다. 이후 아르곤(Argon)분위기에서 승온속도 3°C/min으로 350°C에서 2시간 동안 소결되었다. 소결된 빌렛은 Table(b)의 조건으로 압출되었다.

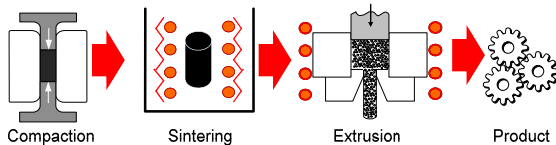


Fig. 1 Schematic illustration of powder extrusion process

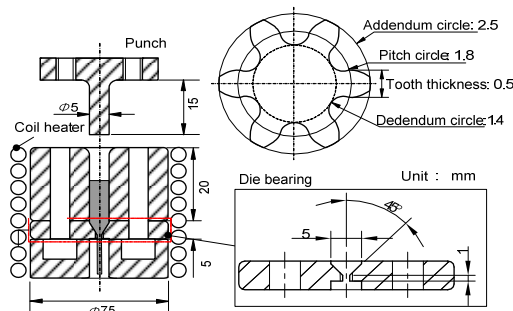


Fig. 2 Shapes and dimensions of the spur gear and extrusion die

(a) Ballmill Conditions		Value
Equipment		Planetary ball mill (Fritsch GmbH)
Pot	Material	AISI-H13
	Size (mm)	Ø130 x h120
Ball	Material	SUS304
	Size (mm)	Ø5
Powder	Al (100mesh, 99.8%)	Zn (100mesh, 99.8%)
Ball - Powder ratio (wt%)		20 : 1
Revolution speed/ Milling Time		150rpm / 0~64h
Pot atmosphere		Ultra high purity argon(99.99%)
(b) Extrusion conditions		Value
Ballmill time(hour)		8, 16, 32, 64
Material of tools		AISI H13
Initial Temperature of tools(°C)		290, 300, 310
Billet size(mm)		$\phi 4.8 \times 9.6$
Extrusion speed(mm/min)		15

Fig. 2는 본 연구에서 사용된 스퍼기어의 압출금형 형상을 나타낸 것이다. 스퍼기어의 피치원지름은 1.8 mm이고 잇수는 6 개이며 단면 감소율은 약 90%이다. 압출된 스퍼기어는 압출하중, 비커스(Vickers)경도를 통해 평가되었다. 압출되는 동안 합금분말이 금형에 소착되는 것을 방지하기 위해 컨테이너 벽면에 이형제(BN-spray)를 도포하였으며 압출속도는 15 mm/min으로 하였다. 압출온도는 컨테이너에 빌렛을 투입한 후 접촉식 열전대를 이용하여 측정하였다. 빌렛은 대체적으로 10분 후 컨테이너 온도와 일치하였다. 따라서 다양한 온도범위에 대한 스퍼기어의 압출은 초기 빌렛을 컨테이너에 투입하여 약 10분간 유지한 후 수행되었다.

### 3. 실험결과 및 고찰

Fig. 3은 다양한 볼밀 시간(8, 16, 32, 64hr)에서 제조된 합금분말을 압출 온도 290, 300, 310°C에서 압출한 스퍼기어 표면의 저배율현미경 사진을 나타낸 것이며, 볼밀시간 32, 64hr과 압출온도 290°C의 조건에서는 압출 시 표면에서 미세한 크랙(crack)이 관찰되었다. 일반적으로 분말압출에서 낮은 압출온도는 금형 내부분말의 유동성과 분말 입자간 응집력을 높게 한다. 이로 인해 압출하중은 증가하게 되고 상대적으로 많은 기공을 포함하면서 밀도는 낮아진다. 특히 기어(Gear)압출과 같이 복잡한 형상의 경우 미세한 치형부를 충전하기 위해서는 중앙부에 비해 상대적으로 높은 변형에너지가 요구된다. 이러한 특성은 압출 시 기어 치형부와 중앙부에서 분말의 속도차이를 더욱 증가시킨다. 결과적으로 분말 내부의 높아진 변형에너지를 완화하기 위해

기어 표면에 크랙을 발생시키고 이것은 내부 기공이나 상대적으로 밀도가 낮은 부위를 따라 전진하며 결국 치형부는 파단 된다<sup>[1,2]</sup>.

Fig. 4 은 각각의 압출온도에서 압출된 스퍼기어의 최대 압출하중과 각각의 시편에 대해 이끝(A), 이뿌리(B), 기어중심(C)에 대해 100gf의 하중의 비커스(Vickers)경도를 측정 한 결과이다.

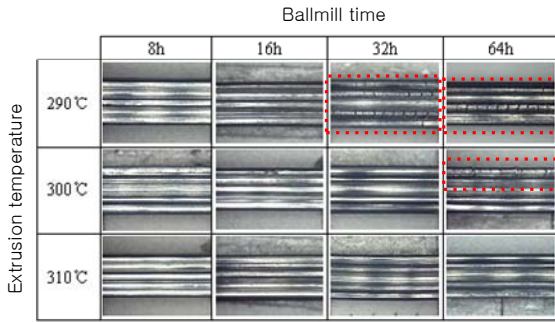


Fig. 3 Surfaces of the spur gear extruded according to ballmill time and extrusion temperature

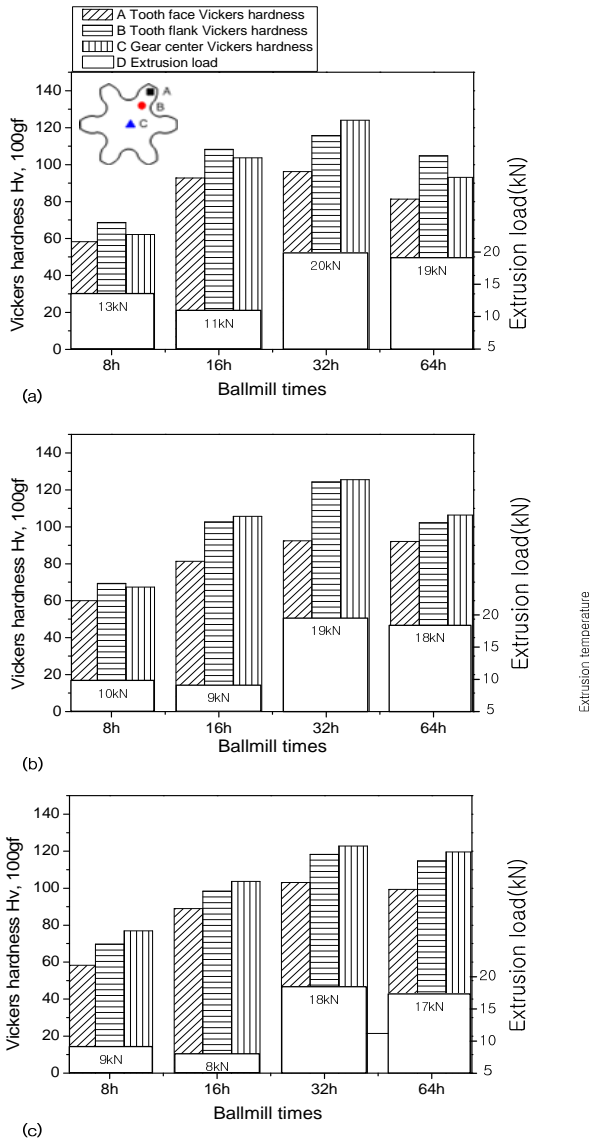


Fig. 4 Extrusion load and hardness of the spur gear according to ballmill time and extrusion temperature (a) Extrusion temperature of 290°C, (b) Extrusion temperature of 300°C, (c) Extrusion temperature of 310°C

실험결과 볼밀시간이 증가함에 따라 전반적인 경도는 증가하였다. 하지만 64h의 경우 32h에 비해 경도가 낮고 크랙이 발생하는 온도 범위는 넓어지는 것을 볼 수 있었다. 이는 과도한 볼밀에 의한 분말의 경화에 따른 영향으로 보여진다. 압출온도의 증가는 압출하는 동안 분말의 유동성을 향상시켜 압출된 스퍼기어의 밀도를 더욱 치밀하게 만든다. 압출온도가 높을수록 분말의 유동성을 향상시키고 분말이 쉽게 소성변형을 일으키므로 압출온도가 310°C인 경우에 다른 온도에 비해 고른 경도분포를 보여준다<sup>[1,2]</sup>. 기어중심에서 외각부로 갈수록 비커스 경도 값이 낮아지는데 이는 분말이 압축되는 양이 치산보다 치골부분이 더 많기 때문으로 추측된다. 차후 기어를 제품으로 활용하기 위해서 경도의 편차에 관한 문제는 후 열처리 공법과 분말과 금형 사이의 마찰력 저감 연구를 통해 향후 개선할 것이다.

#### 4. 결론

본 연구에서는 기계적 합금화 시간에 따른 Al-78wt%Zn 분말을 제작하여 기계적 합금화된 분말의 적정압출온도를 구하기 위해 다양한 온도범위에서 소형 스퍼기어를 압출하였다. 그 결과는 다음과 같다.

- (1) 스퍼기어의 압출에서 압출온도가 증가할수록 분말의 유동성의 향상 소성변형에너지가 감소하기 때문에 압출하중은 감소한다. 압출온도가 낮을 경우 마찰력에 의해 기어의 표면에서 크랙이 발생하는 것을 볼 수 있었다.
- (2) 볼밀시간이 증가 할수록 경도 값은 증가하는 경향을 보이며 64h의 경우 가공경화에 의해 오히려 낮은 경도 값을 보인다.
- (3) 압출된 스퍼기어의 비커스 경도 시험 결과 이끝(A)에서 경도값이 이뿌리(B), 기어중심(C)에서 경도값이 비해 상대적으로 낮은 경향을 보인다. 이는 기어의 치산과 치골의 압축되는 분말의 양의 차이에 의한 것을 보인다.
- (4) 32h 310°C에서 최고경도가 비커스 경도 128 [Hv]인 스퍼기어를 분말 압출 공정을 통해 제작할 수 있었다.

#### 후기

본 연구는 과학기술부/한국과학재단 국가핵심연구센터 사업(R15-2006-022-03003-0) 지원으로 수행되었음

#### 참고문헌

1. Bauser, M., Sauer, G. and Siegert, K., Extrusion, ASM international, USA, 2006.
2. Kuhn, H. A. and Ferguson, B. L., Powder forging, Metal powder industries federation, USA, 1990.
3. Suryanarayana, C., "Mechanical alloying and milling," Progress in materials science, 46, pp. 1~148, 2001.
4. Fogagnolo, J. B., Robert, M. H., Ruiz-Navas, E. M. and Torralaba, J. M., "Extrusion of mechanically milled composite powders," Journal of materials science, 32, pp. 4603~4607, 2002.