

분말 압출 공정에서 온도 유지시간 제어를 통한 미세기어의 내피로성 향상 연구

김진우¹, 이경훈², 황대원², 김병민[#]

Improvement of fatigue resistance of the miniature gear by controlling holding time of temperature in the hot powder extrusion process

J. W. Kim, K. H. Lee, D. W. Hwang, B. M. Kim

Abstract

This paper was designed to fabricate the miniature spur gear with pitch circle of 1.8 by hot extrusion process of mechanically alloyed Zn-22wt%Al powder at various temperature. The mechanical alloying was preformed for ball milled times of 8h, 16h and 32h by the planetary ball milling. Mechanically alloyed powders were compacted cylindrical performs. Extrusions of the miniature spur gear using the alloyed powder were carried out at different extrusion temperatures. The extruded spur gear was sintered for 2h at 350°C in argon atmosphere. The friction between the die and the powdered billet and the internally different density due to complex product shape cause the internal crack. To overcome the mentioned problems, high dimensional accuracy at cross section of the spur gear and uniform Vickers hardness could be obtained by graphite lubricant and controlling holding time.

Key Words : Powder forming, Powder extrusion, Spur gear, Holding time

1. 서론

현대에 들어 휴대용 전자기기, 정밀의료기기, 군사용기기에 이르기까지 모든분야에서 경량화, 초소형화, 정밀화가 빠르게 진행되고 있다. 초소형제품을 생산하는 대표적인 공정으로는 LIGA, 와이어방전, 레이저가공 등이 있지만 위 기술들은 비용, 시간, 소재에 대한 많은 제약을 가지고 있다. 이러한 문제들을 해결하기 위한 기술개발 또한 활발히 이루어지고 있다. 대표적인 기술로는 금속을 이용한 미세압출, 소재의 크게 제한을 받지 않는 미세사출공법 등 다양한 공법들이 있으며, 이미 마이크로 크기의 부품이 제작 가능한 것으로 알려져 있다. 분말미세압출공법 우수한 경제성과 생산성을 가진 공법으로 많은 연구가 진행되고 있다.

분말압출성형에서 성형밀도는 성형성을 나타내는 중요한 척도일 뿐만 아니라, 최종제품의 기계적 성질을 좌우하는 중요한 값이다. 성형밀도가 고르지 못할 경우, 소결 시 수축량의 차이로 인한 제품의 정밀도 저하 및 내부균열로 인한 내피로성 저하로 나타난다. 위와 같은 문제점을 해결하기 위해 일반적으로 성형체를 제조할 때, 윤활제를 통해 금형과 분말 사이의 마찰력을 감소시킨다. 하지만 기어와 같은 복잡한 형상에서는 압출시 형상에 따라 압축량이 달라지며 성형밀도 차를 발생시킨다[1].

본 논문에서는 앞선 문제점을 해결하기 위해 소결공정을 생략하고 압출하기 전 금형내부에서 압분체(Billet)을 일정시간 가열함으로써 분말간의 유동성을 향상시켜 정밀도와 내피로성을 향상시키고자 하였다. 압출된 시편은 표면관찰, SEM, 압출하중, 비커스경도(Vickers hardness)등을 통해 평가 하였다.

1. 부산대학교 하이브리드소재솔루션 협동과정

2. 부산대학교 정밀기계공학과

교신저자: 부산대 기계공학부 E-mail:bmkim@pusan.ac.kr

2. 실험 I

2.1 MA 분말 제조 및 압출 조건

Fig. 1 실험의 개략도이며, 본 연구에서는 기계적합금화 공정을 통해 Zn-22Al 분말을 제조하였으며, 불밀 조건은 Table 1(a)과 같다. 제조된 합금분말은 MTS 사의 만능재료시험기를 이용하여 30kN로 가압하여 $\phi 4.8 \times 9.6\text{mm}$ 크기의 압축시편을 제조하였다. 압축된 시편은 Table(b)의 조건으로 압출되었다. Fig. 2는 본 연구에서 사용된 스퍼기어의 압출금형 형상을 나타낸 것이다. 스퍼기어의 피치원지름은 1.8mm, 잇수 6, 모듈 0.3, 단면감소율은 약 90%이다. 제품의 평가는 압출하중, 비커스경도, SEM을 통해 평가되었다.

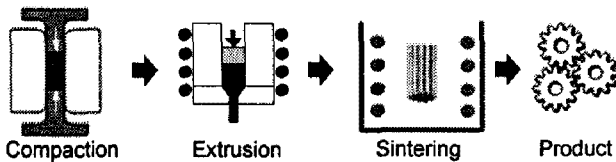


Fig. 1 Schematic illustration of powder extrusion process

Table 1 Conditions of (a) Ballmill (b) Extrusion test

(a) Ballmill Conditions		Value
Equipment		Planetary ball mill (Fritsch GmbH)
Pot	Material	AISI-H13
	Size (mm)	$\phi 130 \times h120$
Ball	Material	SUS304
	Size (mm)	$\phi 5$
Powder	Al (100mesh, 99.8%)	Zn (100mesh, 99.8%)
Ball - Powder ratio (wt%)		20 : 1
Revolution speed(rpm) / Milling Time(hour)		150 / 0~32
Pot atmosphere		Ultra high purity argon(99.99%)
(b) Extrusion conditions		Value
Ballmill time(hour)		8, 16, 32
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

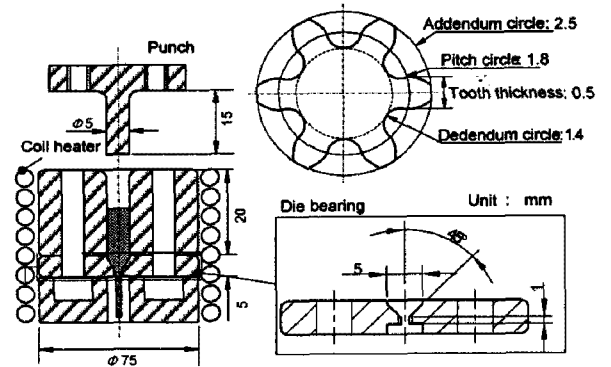


Fig. 2 Shapes and dimensions of the spur gear and extrusion die

압출 시 분말이 금형내부에 소착되는 것을 방지하기 위해 금형벽면에 이형제(BN-spray)를 도포하였다. 압출온도는 컨테이너에 압분체를 투입한 후 접촉식 열전대를 이용하여 측정하였다

2.2 실험결과

Fig. 3은 다양한 불밀시간에서 제조된 합금분말을 압출온도에서 압출한 스퍼기어 표면을 초기 충분한 하중을 받지 못한 10mm를 제거 후 촬영한 저배율현미경 사진이다. 불밀시간 8h의 합금화 분말의 경우 미합금화로 인해 모든 압출 온도에서 Zn의 용융으로 인해 기어 형상을 가지지 못하였다. 불밀시간 16, 32h의 합금화분말의 경우 압출온도 290°C에서 압출방향과 반대 방향으로 기어목 부분에서 파손이 일어나는 것을 볼 수 있었다. 이러한 현상은 낮은 압출온도는 금형 내부 분말의 유동성 저하시키며, 분말 입자간 응집력을 높여 압출하중은 증가하게 되고 상대적으로 많은 기공을 포함하면서 밀도는 낮아진다. 특히 기어(Gear)압출과 같이 복잡한 형상의 경우 압출 시 기어 치형부와 중앙부에서 분말의 속도차이를 더욱 증가시킨다. 결과적으로 기어 표면에 크랙을 발생시키고 이것은 내부 기공이나 상대적으로 밀도가 낮은 부위를 따라 전진하며 결국 치형부는 파단 된다[1,2].

Fig. 4는 각각의 압출온도에 따른 최대 압출하중과 각 부위의 비커스 경도를 나타낸 것이다. 그결과 압출온도가 높아 질수록 분말의 유동성 향상으로 인해 압출하중이 낮아지는 것을 확인할 수 있었다. 각 부위의 비커스경도 편차가 줄어드는 것을 확인할 수 있었다.

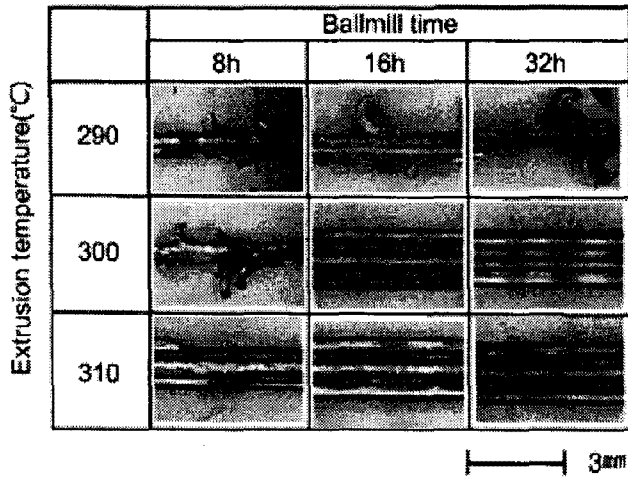


Fig. 3 Surfaces of the spur gear extruded according to ballmill time and extrusion temperature

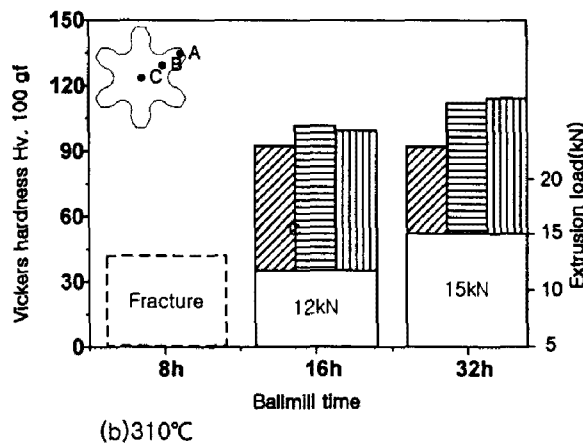
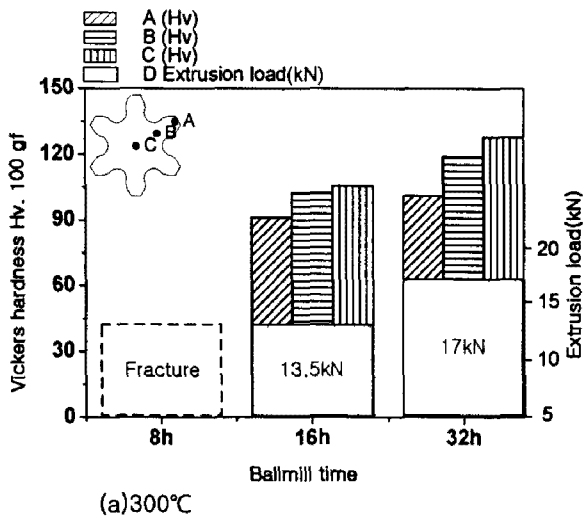


Fig.4 Extrusion load and hardness of the spur gear according to ballmill time and extrusion temperature (a) 300°C, (b) 310°C

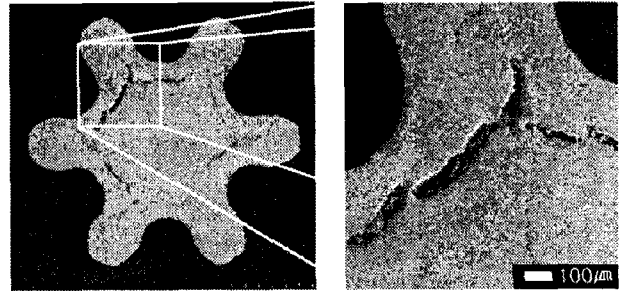


Fig.5 Internal crack of of the spur gear

압출된 모든 시편은 용점의 약 0.6 T_m ($T_{Melting\ point}$) 지점인 350°C에서 2 시간 동안 소결하였다. 그 결과 모든 공정조건에서 크랙이 발생하였으며, Fig.5 은 32h-310°C 에서의 소결 후 기어의 크랙 상태를 나타내고 있다. 이러한 현상은 압출 시 금형벽면과 분말간의 마찰과 복잡한 기어형상에 의한 성형체의 내부밀도의 불균일에 의해 소결 시 수축량의 차이를 만들게 되고 이로 인해 기어의 정밀도 저하 및 내부 크랙으로 인한 내마모성 감소로 이어진다.

3. 실험 II

3.1 Holding time 실험 조건

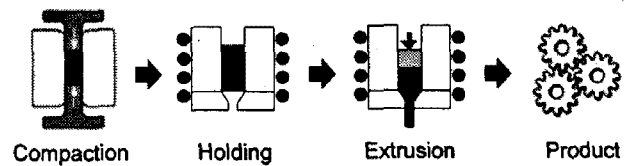


Fig.6 Schematic illustration of powder holding extrusion process

Table 2 Conditions of Holding Extrusion

Extrusion conditions	Value
Lubricant	Graphite(Klüber)
Holding time(min)	5, 15,30,60
Ballmill time(hour)	32
Initial Temperature of tools(°C)	310

Fig.6 는 압출 전 온도유지시간에 따른 실험의 계략도이며, 시험조건은 Table 2 와 같다. 앞선 실험에서 분말의 성형밀도에 따른 문제점을

해결하기 위해 다음과 같이 추가적인 실험을 진행하였다. 온도유지시간조절공법은 소결공정을 생략하고 압출 전 일정시간 동안 온도를 유지시켜 압축시편 내부까지 충분한 온도를 전달하고 이를 통한 분말간의 유동성을 향상시켜 성형밀도를 최대한 균일하게 하고자 하였다. 기어에 대한 밀도 평가는 비커스경도를 이용하였다. 또한 금형과 분말의 마찰을 최소화 하기 위해 Klüber 사의 흑연(Graphite) 액상 윤활제를 이용하였다.

3.2 실험결과

Fig. 7 온도 유지시간에 따른 비커스경도와 압출하중에 대한 결과이다. 유지시간에 따른 영향을 평가한 결과 5분 이상의 값에서는 비커스 경도에 대해서는 큰 영향을 주지 못하는 것을 확인할 수 있었다. 하중의 경우 15분에서 가장 낮게 나타났다. 표면 분석결과 30분 이상의 경우 윤활제가 표면에 응착되어 정밀도에 영향을 주는 것을 확인할 수 있었다. 또한 모든 온도 변수에서 내부 크랙은 발생하지 않았다.

Fig8. 온도유지시간을 주지 않은 경우와 실험 중 가장 좋은 정밀도를 보여주는 온도유지시간 15min 에서의 단면사진을 나타낸 것이며, 유지시간을 주지 않았을 때보다, 유지시간을 주었을 때 기어의 단면형상과 금형치수의 외접원의 오차가 약 0.002mm 로 확연히 줄어드는 것을 확인할 수 있었다.

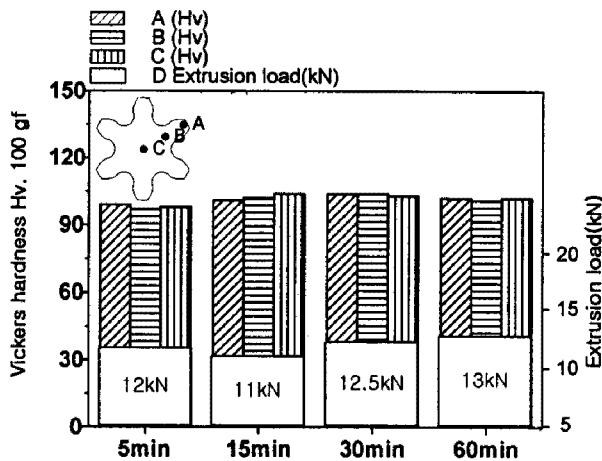


Fig.7 Extrusion load and hardness of the spur gear according to holding time and extrusion temperature at 310°C

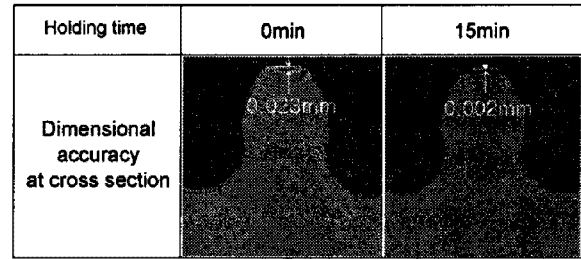


Fig.8 Dimensional accuracy at the spur gear

4. 결과 및 고찰

본 연구에서는 미세기어의 분말 압출 시 내부 성형밀도 차이에 의한 문제점을 해결하기 위해 압출 전 온도유지시간을 조절하여 압출 하였다. 그 결과는 다음과 같다.

(1) Zn-22Al MA 분말의 압출 시 불밀시간 32h-압출온도 310°C에서 가장 높은 비커스경도와 가장 낮은 압출 하중을 얻을 수 있었다.

(2) 소결 시 금형과 분말과의 마찰, 복잡한 기어 형상으로 인한 내부 밀도차이에 의해 심각한 크랙이 모든 실험조건에서 발생하였다.

(3) 온도유지시간을 주었을 경우 고른 경도분포를 통한 제품의 내피로성 향상과 기어의 정밀도 향상에 탁월한 성능을 보이는 것을 확인할 수 있었으며, 15min 에서 가장 높은 성형성과 정밀도를 얻을 수 있었다.

후 기

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

참 고 문 헌

- [1] Y. Saotome, H. Iwazaki, "Superplastic backward microextrusion of microparts for micro-electromechanical system", Journal of Materials Processing Technology, Vol. 119, pp. 307~311.
- [2] H. A. Kuhn, B. L. Ferguson, Powder forging, Metal powder industries federation, USA, 1990..