

# Al6061의 열간압출시 질소금형냉각이 압출재의 미세조직에 미치는 영향

고대훈<sup>1</sup>· 이상호<sup>2</sup>· 고대철<sup>3</sup>· 김병민<sup>#</sup>

## The Influence of Extrudate Microstructure of Die Cooling Using N<sub>2</sub> gas in Hot Extrusion for Al 6061 Alloy

D. H. Ko, S. H. Yee, D.C. Ko, B. M. Kim

### Abstract

It's so difficult to obtain simultaneously both product quality and improvement of the productivity of which products are in hot aluminum extrusion process. But significant improvements in productivity and extrudate quality result from die cooling system using nitrogen gas injection during aluminum hot extrusion. These benefits are due primarily to cooling effect nitrogen gas and removal of excess heat in the extrudate temperature. This investigation is carried out hot extrusion experiment, also compared cooling system with non-cooling system to inspect cooling effects on hot aluminum extrusion. The purpose of this investigation is estimated the grain growth for the extrudate quality, and the ram speed for the improvement of the productivity.

**Key Words** : Al hot extrusion(알루미늄 열간압출), Porthole die(포트홀 금형), Hard disk arm(하드디스크 암), Die cooling(금형 냉각), Microstructure(미세조직)

### 1. 서론

금속소재의 미세조직은 재료의 기계적 특성에 미치는 영향이 매우 높다. 철강재료의 경우는 오래 전부터 재료의 미세조직의 제어에 많은 연구가 진행 되어왔지만, 알루미늄과 같은 비철재료의 경우는 상대적으로 미비한 실정이다. 이에 따라 비철계 경량화, 고강도를 대표하는 알루미늄의 압출기술은 아직도 많은 연구가 진행되고 있다.

현재 다양한 분야에서 알루미늄 압출 제품이 사용되고 있으며, 특히 전자부품에 적용되는 경우 제품의 소형화, 정밀화가 요구됨에 따라, 제품의 건전성을 확보함과 동시에 생산성을 향상시킬 수 있는 정밀열간압출공법이 필요하다. 따라서 이 두

요건을 만족시키기 위해 질소가스를 이용한 금형 냉각 (Die cooling) 방법이 있다[1]. 질소(N<sub>2</sub>)는 아르곤(Ar), 헬륨(He)등과 같이 대표적인 불활성기체로서 다른 화합물과 반응을 하지 않고 매우 안정적인 성질이 있다. 특히 질소는 상대적으로 가격도 저렴하며, 다양한 산업분야에서 냉각제로써 널리 사용되고 있다. 따라서 질소의 물리적 성질과 원가적인 측면을 고려하여 질소가스를 이용한 냉각시스템(Cooling system)을 열간압출공정에 적용하였다[2]. 이 냉각시스템의 적용으로 압출공정에서 얻을 수 있는 장점은 (1)생산성의 향상, (2)소재의 표면정도의 향상, (3)소재의 치수정밀도 향상, (4)금형의 수명향상, (5)소재의 불량률 감소 (6) 제품의 산화 방지 등이 있다[3].

1. 부산대학교 대학원 첨단정밀공학과

2. 부산대학교 대학원 정밀기계공학과

3. 부산대학교 ILIC

# 교신저자: 부산대학교 기계공학부

E-mail: bmkim@pusan.ac.kr

본 연구에서는 HDD의 주요부품 중 하나인 HDA(Hard disk arm)의 열간압출공정에서 압출속도 증가에 따른 생산성 향상과 제품의 건전성을 위해 냉각시스템을 설계 및 제작하였다. 또한 설계된 냉각시스템을 적용한 열간압출실험과 미적용한 열간압출실험을 통해 금형의 냉각효과를 검증하였으며, 이를 통해 압출재의 미세조직을 관찰하여, 결정립 성장을 제어 할 수 있는 압출재의 온도와 최대의 압출속도를 결정하였다.

## 2. 열간 압출 실험

### 2.1 실험조건 및 실험방법

본 연구에서 적용되는 제품은 열간압출가공으로 성형되어지며, 용도는 HDD의 주요부품으로서 Disk의 데이터를 기록하는 Head를 지지하는 역할을 한다. Fig. 1에 제품이 HDD에서 적용되는 위치 및 열간압출성형되어진 제품의 최종형상을 나타내었다.

본 실험은 최대압출하중이 1800Ton인 압출기에서 직접압출방식으로 실험을 수행하였다. 또한 압출금형은 4 홀로 구성된 포트홀(Porthole) 방식이며, 재질은 열간 금형강인 STD 61을 사용하였다. 또한 실험에 사용된 소재는 Al6061-0 알루미늄 합금이며, Table 1에 주요 화학성분을 나타내었다.

우선 실험을 수행하기 전에 공정변수들을 설정하였다. 종속변수로는 빌렛 가열온도, 금형 가열온도, 압출비, 질소유량, 적용소재를 두었으며 또한 독립변수로는 냉각시스템의 미적용 및 적용에 따라 압출속도를 증가시키면서 실험을 하였다.

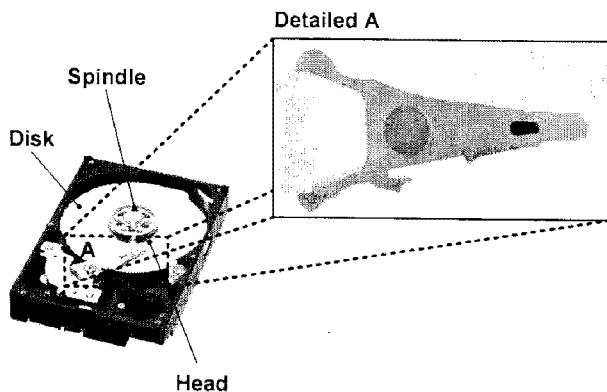


Fig. 1 Structure of HDD and final shape of extrudate

Table 1 Chemical compositions of A6061

Comp	Mg	Si	Fe	Cu
Wt(%)	0.898	0.583	0.225	0.219

Table 2 Experiment conditions of hot extrusion

Extrusion condition	Value
Dimension of billet (mm)	Ø 178 x h 570
Dimension of Die (mm)	Ø 230 x h 150
Initial billet temp (°C)	430
Initial die temp (°C)	480
Extrusion ratio	44
Ram speed (mm/s)	1.8, 2.2, 2.6
N2 flow rate (L/min)	50
Initial N2 gas Temp (°C)	20~25
N2 gas cooling system	Without N2 gas
	With N2 gas

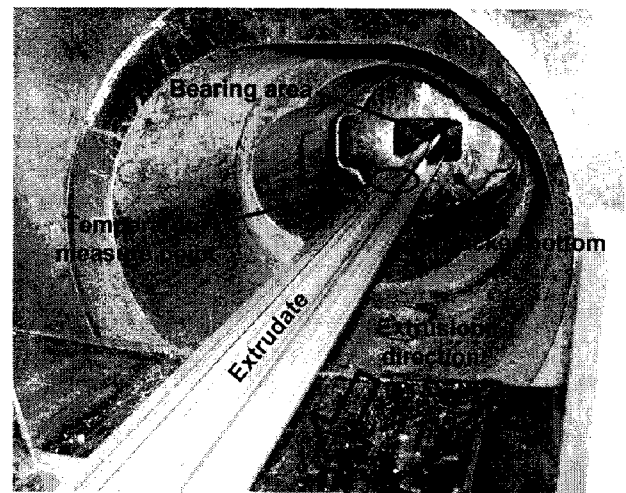


Fig. 2 Temperature measure point of extrudate

열간 압출실험 공정조건에 세부사항을 Table 2에 나타내었으며, 실험에서 측정하고자 하는 값으로는 Fig. 2에서 보듯이 금형의 베어링 부를 통과한 직후의 소재의 온도와 압출압력을 측정하였다. 이는 최종 압출재의 조직변화에 가장 많은 영향을 미칠 인자가 소재의 온도라 판단되었기 때문이다. 소재 출구 온도의 측정은 비접촉식 온도 측정기를 사용하여 각 공정조건 별로 Billet 5 개씩 연속적으로 소재 온도를 측정하였다.

## 2.2 냉각시스템의 구조설계 및 적용

열간압출공정에서 금형냉각을 위한 냉각시스템을 설계 및 제작을 하였다. 이에 따라 제품의 형상을 고려하여 제작한 냉각유로(Cooling path)를 형상과 냉각유로 내에서의 질소가스 유동방향을 Fig 3 에 제시하였다. 초기유량 50L/min 의 질소가스가 주입점을 시작으로 화살표 방향을 따라 유동한 뒤 4 군데의 출구로 배출이 되게 설계하였다.

Fig. 4 에서 볼 수 있듯이 냉각유로는 백커의 상단부에 위치하며, 또한 가공 시 냉각유로의 표면 거칠기 정도에 따라 질소가스의 유동에 영향을 미칠 것이라 판단하여, 일반정삭 가공하였으며, 이때의 평균 표면거칠기(R.A)는 25  $\mu\text{m}$  으로 가공을 하였다. 단면형상은 직사각형으로 하였으며, 단면치수는 2mm x 8mm 으로 설계를 하였다.

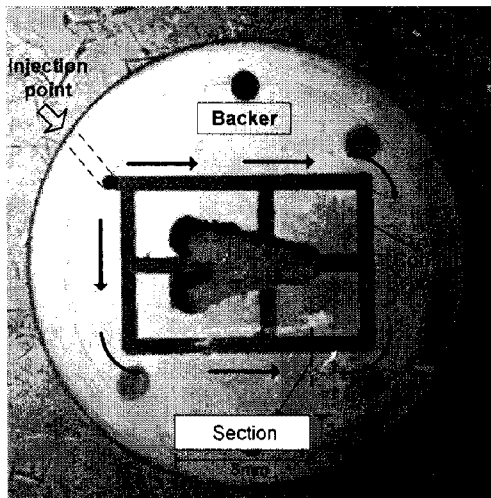


Fig. 3 Shape of cooling path and flow direction of  $\text{N}_2$  gas in backer

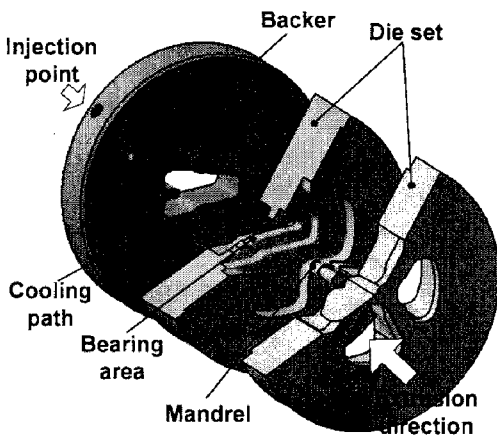


Fig. 4 Structure of die set for cooling system

## 3. 실험 결과

### 3.1 압출재의 온도 비교

압출하중은 실험하기 전 압출기의 초기 설정을 최대용량에서 안전율을 고려한 1400 Ton을 초과하지 못하도록 설정하였으며, 이에 따라 모든 조건에서 최대압출하중이 1400 Ton으로 측정이 되었다.

Fig. 5 는 압출속도에 따라 열간압출실험을 통해 소재의 출구 온도를 측정하여 냉각시스템을 적용한 경우와 미 적용한 경우를 비교한 것이다.

냉각시스템의 적용여부와 관계없이 압출속도가 높아짐에 따라 소재의 온도가 상승하였고, 최대 압출속도로 압출 하였을 때 압출재의 온도가 최고 높게 나왔다. 또한 동일한 압출속도 조건에서 냉각시스템을 적용하여 금형을 냉각시키면 미적용 시 보다 20~25 $^{\circ}\text{C}$  정도 소재의 출구온도를 낮출 수 있다는 것을 확인하였다.

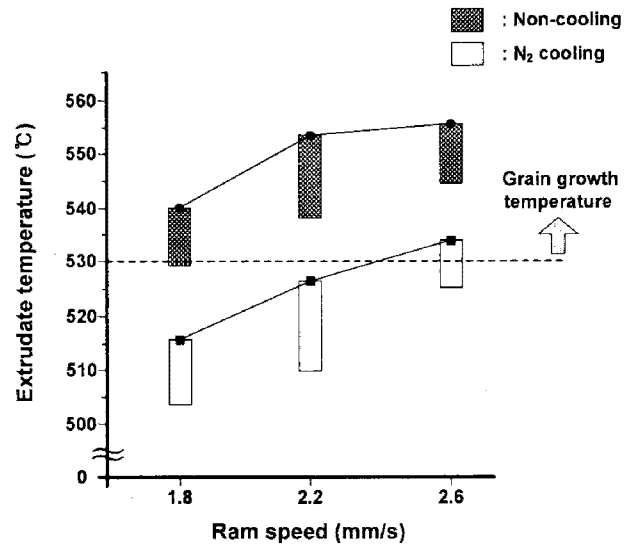


Fig. 5 Comparison  $\text{N}_2$  cooling with non-cooling for extrudate temperature

### 3.2 압출재의 미세조직 관찰

냉각시스템의 적용 여부에 따른 열간압출성형한 압출재의 미세조직을 관찰하였다. 압출재의 조직을 관찰하기 전 시편을 용체화 처리 후 175 $^{\circ}\text{C}$ 에서 8 시간 동안 인공시효(Artificial aging) 열처리를 하였다. 압출재의 미세조직 측정 지점을 Fig. 6 에 나타내었으며, 이 지점은 압출재의 결정립 성장이 가장 활발하게 일어났던 지점이다. 특히 결정립의 성장이 압출재의 둘레를 따라 테두리 형태로 발생하는 걸 볼 수 있는데, 이는 소재가 최

중적인 형상이 이루어지는 베어링 부와의 마찰발열로 인한 온도상승과 높은 변형률 및 변형률속도 때문에 발생된 현상이라 할 수 있다.

Fig. 7 에서 볼 수 있듯이 압출재의 온도가 530℃ 이하가 되면 결정립의 성장률이 현저히 감소하였으며, 본 연구에 적용된 Al6061 의 경우 열간압출 시 압출재의 온도를 530℃ 이하로 유지 및 관리 하는 것이 중요하다. 따라서 열간 알루미늄 압출공정에서 냉각시스템을 적용하면 압출재의 온도제어를 통해 결정립의 조대화를 억제하여 제품의 건전성을 확보함과 동시에 압출속도의 증가로 생산성을 향상 시킬 수 있다.

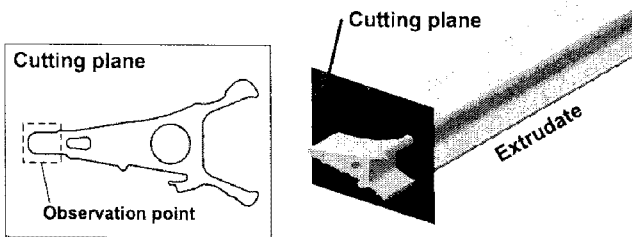


Fig. 6 Microstructure observation points

Ram speed	Non-cooling system	Cooling system
1.8 mm/s	538 ℃	516 ℃
2.2 mm/s	552 ℃	527 ℃
2.6 mm/s	555 ℃	533 ℃

Fig. 7 Microstructure of recrystallized extrudate for non- cooling system and cooling system

#### 4. 결론

본 연구에서 Hard disk arm 생산을 위한 질소냉각시스템을 적용하여 열간압출공정에서의 압출실험을 통해 다음과 같은 결론을 도출하였다.

- (1) 열간압출실험을 한 후 시편의 미세조직을 관찰한 결과 압출재가 온도가 높을수록 결정립이 성장하여 조대화가 된다.
- (2) 열간압출공정에서 질소 냉각시스템을 적용하면 미적용한 경우 보다 압출재의 온도를 20~25℃ 낮출 수 있다.
- (3) 열간압출공정에서 냉각시스템을 적용하면 압출재의 결정립이 미세화되며, 압출속도를 증가로 인한 생산성을 향상 시킬 수 있다. 그때의 최대압출속도는 2.2mm/s 이다.
- (4) 본 연구에 적용된 소재 Al6061 의 결정립 조대화를 방지하기 위한 제어온도는 530℃ 이하로 유지 하는 것이다.

#### 후 기

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

#### 참 고 문 헌

- [1] 1982, Liquid nitrogen die cooling enhance extrusion surface, Modern Metals, 38, (7), pp.46~48
- [2] T. J. Ward, J. F. Heffron, 1984, The effect of nitrogen and liquid and gaseous on aluminum extrusion productivity, Proceeding of the Third international Aluminum Extrusion Technology Seminar, Vol 1, pp. 211~219
- [3] R. J. Selines, F. D. Lauricella, 1984, Extrusion cooling and inerting using liquid nitrogen, Proceeding of the Third international Aluminum Extrusion Technology Seminar, Vol 1, pp. 221~226
- [4] E. M. Herba, H. J. McQueen, 2004, Influence of particulate reinforcement on 6061 materials in extrusion modeling, Materials Science and Engineering A, Vol 372, pp. 1~14