

# 용탕단조 공정을 응용한 액상이 제거된 Al7075 레오로지 소재의 T6 열처리 후 기계적 특성

강성식<sup>1</sup>, 강충길<sup>#</sup>

## The Mechanical Property of Al7075 Rheology Material with Heat Treatment T6 to Eliminate Liquid Phase.

S. S. Kang, C. G. Kang

### Abstract

Apply electromagnetic stirring system to making rheology slurry of Al7075. This experiment has important element which is the relation between solid fraction percent and melt temperature of Al7075. The rheology slurry of Al7075 eliminated liquid phase to include alloying element of copper and zinc by squeeze casting process. In result the most structure was composed entirely of globular primary  $\alpha$ . Used this material for this study. This study made a comparison of mechanical property according to heat treatment T6 at each melt temperature (619 °C and 615 °C). The microstructure and component are observed how heat treatment T6 weight with the mechanical property by SEM-EDS.

**Key Words** : Electromagnetic stirring system, Rheology slurry, Primary  $\alpha$ , Heat treatment T6

### 1. 서론

최근 구조용 알루미늄 합금의 레오로지 공정에서 기계적 성질을 증가시키기 위하여 액상편석과 표면 결함을 제어하고자 하는 노력이 활발히 이루어지고 있다. 이에 따른 구조용 알루미늄 합금의 레오로지의 고온 물성치를 확보하기 위한 연구가 지속적으로 수행되고 있다. Han[1] 등은 Al2014의 레오로지 상태에서의 압축성형을 통한 변형률 속도와 응력과의 관계에 대해 규명하였고, Liu[2] 등은 Al2014의 성형속도에 의한 액상편석을 관찰하였다. Suery[3] 등은 점도를 통한 레오로지 거동을 모델링하고 결정하는 방법에 대하여 연구하였다. Al7075의 텍소 성형에서의

고상률과 성형속도의 변화에 따른 결함을 관찰하였다. Z. Fan[4] 등은 구조용 알루미늄 합금의 레오캐스팅을 적용하여 성형성을 평가하였다. Chayong[5] 등은 Al7075의 텍소성형에서의 고상률과 변형속도에 따른 결함을 관찰하였다. 이상에서 언급한 바와 같이 지속적인 연구에도 불구하고 구조용 알루미늄의 레오로지에 대한 기초 데이터가 많이 부족하다.

본 연구는 전자교반을 이용한 Al7075 레오로지 슬러리를 용탕 단조공정을 응용하여 액상을 제거, 구상화된 초정  $\alpha$ 상만으로 구성된 소재를 제조하고 이 소재에 열처리 T6를 이용하여 기계적 특성을 확인하고 SEM-EDS 이용하여 열처리 후의 성분 분석 및 미세조직을 관찰하고자 한다.

1. 부산대학교 기계공학부

#. 부산대학교 기계공학부

E-mail : cgkang@pusan.ac.kr

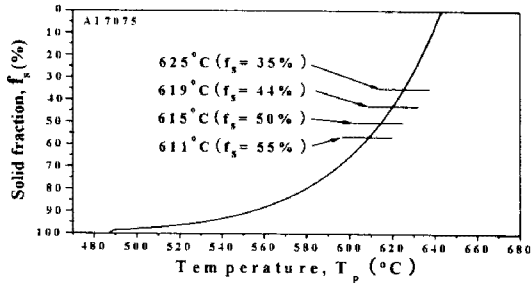


Fig. 1. Solid volume fraction of Al 7075 with DSC

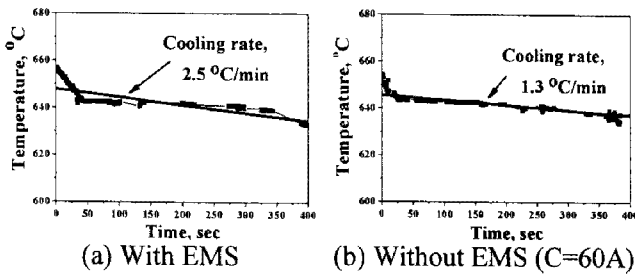


Fig. 2. Comparison of cooling rate in Al 7075

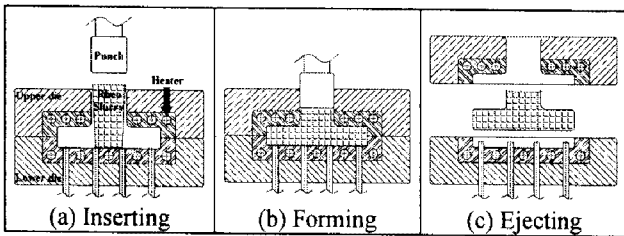


Fig. 3. Schematic of indirect Rheo forging process

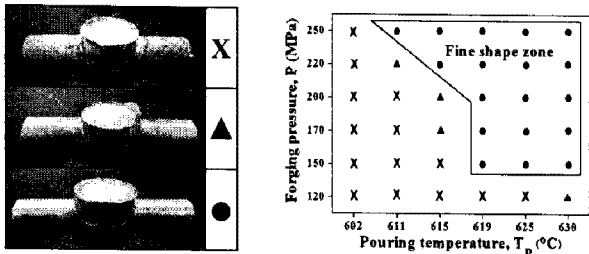


Fig. 4. Fine shape zone of Rheo forging to conditions

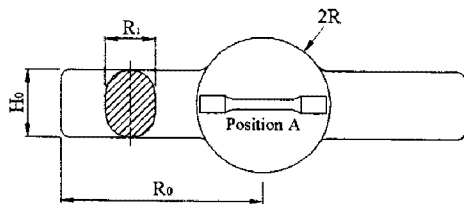


Fig. 5. Specimen for tensile test with position A  
(R0 = 120mm, R1 = 30mm, H0 = 40mm, 2R = 80mm)

## 2. 실험

레오로지 소재가 되기 위해선 넓은 고액공존 영역이 필요하며, Al7075는 액상선과 고상선의 차이가 많이 나는 소재임을 알루미늄 핸드북을 통해 확인 할 수 있었다. Fig. 1은 Al7075의 고상율에 따른 온도를 파악하기 위해서 열량분석계를 이용하여 조사한 것을 정리, 그래프로 표시한 것이다[6]. Fig. 2는 60A의 전자교반력을 이용하여 레오로지 소재 제조시 2.5°C/min의 냉각효과가 있음을 확인 할 수 있었다[7]. 실험에 적용한 고상율은 35~55%인 625~611°C 일 때이며, 전자교반력을 이용하여[8] Dendritic network를 파쇄, 구상화된 조직을 가지는 고상과 액상이 섞인 점성질의 레오로지 슬러리를 얻을 수 있었다[9]. Fig. 3는 단조공정의 계략도이다. 펀치를 레오로지 소재에 직접 가압을 하여 구상화된 초정  $\alpha$ 상만 남기고 액상물이 높은 소재가 양 옆 빈 공간을 채우는 것을 목적으로 이 공정을 사용하였다. 고상율이 35%, 44%, 50%, 55%인 레오로지 소재를 4개의 그룹으로 나누고 다시 각 그룹을 150~250MPa의 가압력으로 20sec 동안 가압하였다.

## 3. 실험 결과 및 고찰

Figure 4는 외형적 형상의 결과를 정리한 것이다. Fine shape zone 영역 내에 있는 제품들은 양 옆의 가지 부분의 조도가 깨끗한 정도에 따라 충분한 가압력을 받았다는 조건에 충족된 제품들로 구분하여 정리한 것이다. Fig. 5에서 보는 바와 같이 성형된 제품의 치수를 나타낸 것이며, 펀치에 의해 가압된 직접 가압부인 위치 A에서 고상율이 44%(615°C), 50%(619°C)를 기준으로 열처리 전후 기계적 특성을 확인과 SEM-EDS를 통해 조직 관찰 및 성분 분석을 하기 위해 시험편 채취를 하였다.

Figure 6는 ASTM E8M 인장규격 시편을 이용하여 결과 중 연신율을 비교한 그래프이다. 619°C 일 때 열처리 후 연신율이 11.1%에서 13.7%, 615°C 일 때 열처리 후 연신율이 12.2%에서 13.8로 각각 향상되었다. 각 시편의 파단면 조직을 SEM로 관찰한 결과, 연성파괴의 특징인 미세적인 덩플(Dimple)을 확인 할 수 있었다[10].

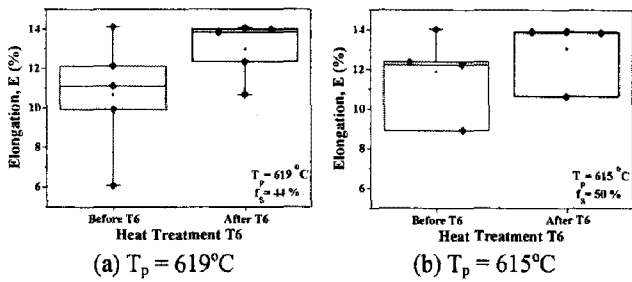


Fig. 6. Comparison of elongation according to T6 at each temperature with position A

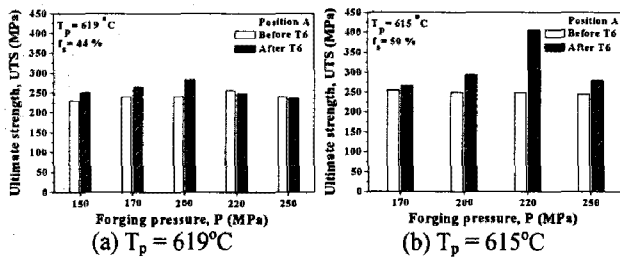


Fig. 7. Comparison of ultimate strength according to T6 at each temperature with position A

Tp	T6	150MPa	170MPa	200MPa	220MPa	250MPa
619 °C	Before	[Micrograph]	[Micrograph]	[Micrograph]	[Micrograph]	[Micrograph]
	After	[Micrograph]	[Micrograph]	[Micrograph]	[Micrograph]	[Micrograph]
615 °C	Before	x	[Micrograph]	[Micrograph]	[Micrograph]	[Micrograph]
	After	x	[Micrograph]	[Micrograph]	[Micrograph]	[Micrograph]

Fig. 8. Comparison of microstructure according to T6 at each temperature with position A

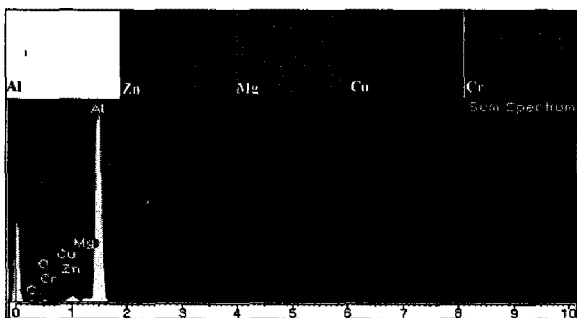


Fig. 10. A chemical experiment test of position A

Figure 7 은 열처리 전후의 최대인장강도 결과를 정리한 그래프이다. 열처리 전 최대인장 강도는 가압력에 따라 큰 변화가 없었지만 열처리 후에는 향상됨을 확인 할 수 있었다. 하지만 특정 가압력 이후부터 강도 개선이 되지 않거나 이전 가압력보다 좋지 않음을 관찰 할 수 있었다.

Figure 8 은 열처리 전후의 조직 사진이다. Keller 시약(H<sub>2</sub>O 190 ml + HF 2 ml + HNO<sub>3</sub> 5 ml + HCl 3 ml)으로 에칭을 한 후 조직을 관찰하였다. 열처리 전 619 °C 에선 220MPa 부터 조직이 한쪽 방향으로 찌그러짐을 관찰 할 수 있었다. 615 °C 에선 고상율이 높았던 관계로 전 조직이 유사한 형태로 관찰 되었다. 열처리 후 619 °C 에선 220MPa 에서부터 결정립 성장이 관찰 되었으며, 615 °C 일 때에는 미세 재결정이 진행 되었음을 확인 할 수 있었다[11]. 또한 SEM 을 이용하여 파단된 시편을 폴리싱과 에칭을 한 후 기공을 유무를 관찰 하였다. 각 시편을 대상으로 조사하였지만 기공을 관찰 할 수 없었다. 레오로지 소재의 특성인 높은 점성력[12]과 제품 성형시 충분한 가압력[13]으로 기공으로 인한 기계적 특성의 저하는 없음을 확인 할 수 있었다. Fig. 10 은 열처리 된 위치 A 를 Oxford Instruments 사의 EDS 를 가속전압 15kv 에서 면 분석을 하였다. 분석한 결과 Zn 과 Cu 의 정출상은 발견되지 않았다. 이러한 이유는 가압으로 인하여 Zn 과 Cu 를 함유한 액상[14]이 충분히 제거되었기 때문이며, Al(78.73)>Zn(3.52)>Mg(0.80)>Cu(0.54)의 분석결과를 얻을 수 있었다. 열처리를 통해 GP. Zone 의 단계를 거쳐 Al7075 의 석출물인 MgZn<sub>2</sub> 이 골고루 분산됨을 EDS 면분석을 통해 확인 할 수 있었다 [15].

#### 4. 결론

고상율을 제어한 소재에 전자교반력을 이용하여 점성력을 가진 Al7075 레오로지 소재를 제조하였다. 이 소재를 이용하여 단조공정을 응용, 액상조직을 제거한 성형품의 열처리 전후의 기계적 특성과 성분분석 및 조직 관찰을 통하여 다음과 같은 결과를 얻을 수 있었다.

1. 열처리 후 고상율이 45%일 때, 200MPa 의

가압으로 성형된 제품이 가장 좋은 최대인장강도인 283MPa 을 얻을 수 있었으며, 고상율이 50%일 때, 220MPa 의 가압으로 성형된 제품이 가장 좋은 최대인장강도인 404MPa 를 얻을 수 있었다. 또한 인장시험 결과 필요이상의 가압력을 가하여도 압력에 비례하여 기계적 성질이 반드시 향상된다는 것이 아님을 확인 할 수 있었다.

2. 열처리 후 강도개선이 된 이유는 MnZn<sub>2</sub> 가 구상화 된 초정 α상에 고른 분산 분포가 되어 있음을 EDS 면 분석을 통해 확인을 할 수 있었으며, 높은 점성력과 가압력으로 기공이 충분히 수축되어 발견되지 않았기 때문이다.
3. 열처리 후 연성의 개선이 Zn, Cu 의 정출상 원인이 되는 Cu 와 Zn 을 함유한 액상을 단조 공정을 통해 충분히 제거하였기 때문이며, 미세 재결정 조직에 의해 연신율이 높아 짐을 조직 관찰을 통해 알 수가 있었다.

## 후 기

이 논문은 2007년도 정부(과학기술부)의 재원으로 한국과학재단의 국가지정연구실사업으로 수행된 연구임.(ROA-2003-000-10435-0)

## 참 고 문 헌

- [1] D. S. Han, G. Durrant and B. Cantor, The 5<sup>th</sup> Int. Conf. on Semi-Solid Processing of Alloy and Composites, pp.43~50, 1998.
- [2] D.Liu, H.V. Atkinson, P. Kapranos and H. Jones, The 7<sup>th</sup> Int. Conf. on Semi-Solid Processing of Alloy and Composites, pp.311~316, 2002.
- [3] M, Suery, A. Zavaliangos, The 6<sup>th</sup> Int. Conf. on Semi-Solid Processing of Alloy and Composites, pp.129~135, 2000.
- [4] Z. Fan, S. Ji, X. Fang, The 8<sup>th</sup> Int. Conf. on Semi-Solid Processing of Alloy and Composites, pp.1~10, 2004.
- [5] S.Chayong, H. V. Atkinson, P. Kapranos, Mater. Sci.Eng. A, Vol. 390, pp. 3~12, 2005
- [6] "Metals hand book(Desk Edition)", American Society for Metals, 6-30~6-32.
- [7] Lennart Backerud, Ella Krol and Jarmo Tamminen, "Solidification characteristics of aluminum alloys. 1, Wrought alloys", American Foundrymen's Society, 1986.
- [8] S.C. Lim, E.P. Yoon, "Research Papers : Refinement of Primary Crystals in Al Alloy by the Electromagnetic Stirring", Vol.16, No.5, Korea Foundrymen's Society, 1996.
- [9] S. W. Oh, C. G. Kang and B.M.Kim, "Grain Size Control of Wrought Aluminum Alloy for Rheology Forging by Electromagnetic Stirring and Its Mechanical Properties", Vol. 116-117, Pp.783~786, Solid State Phenomena, 2006.
- [10] R. W. Hertzberg, "Deformation and Fracture Mechanics of Engineering Materials. 3rd edition", John Wiley & Sons, 1989.
- [11] R, Clark Jr, B. Coughran, I. Traina, "On the correlation of mechanical and physical properties of 7075-T6 Al alloy", Vol. 12, pp. 520~526, Engineering Failure Analysis, 2005.
- [12] G. Govender, L. Ivanchev, "Near Net Shape Forming Using Semi-Solid Metal Forming", International Conference on Competitive Manufacturing, 2004.
- [13] S. W. Kim, D. Y. Kim, W. G. Kim and K.D. Woo, "The study on characteristics of heat treatment of the direct squeeze cast 7075 wrought Al alloy", Vol. 304-306, pp. 721~726, Materials Science and Engineering A, 2001.
- [14] J.Y. Choli, Y.D. Kwon, J.W. Lee, and Z.H. Lee, "The effect of cooling rate on the solidification behavior and segregation of 7075 and 7050 aluminum alloys" Vol.21, No.6, Korea Foundry men's Society, 2001
- [15] L. K. Berg, J. Gjønnes, V. Hansen, "GP-Zone In Al-Zn-Mg Alloys and Their Role in Artificial Aging", Vol. 49, pp.3443~3451, Acta Materialia, 2001