

나선형 기계 교반 장치를 이용한 Al 합금 레오로지 소재의 제조

한수훈¹, 배정운¹, 강충길[#]

The Manufacture of Aluminum Rheology Materials by Spiral Stirring Equipment

S. H. Han¹, J. W. Bae¹, C. G. Kang[#]

Abstract

Recently, rheology forming technology has been interested in industrial and academic for light weight materials and to solve environmental issues. In this study, the rheology material production equipments were used to be made spiral shape by special design. And the experiment variables established stirring time 0 ~ 1200 sec, stirring velocity 0 ~ 100 rpm and several material temperature of semi - solid states. The rheology materials were made for established experiment conditions then measured mechanical properties. Sequence-production equipments were appended to fabrication system of rheology material for make rheology materials continually. Therefore, the development of sequence-production equipments were demanded for fine grains and for uniform globule shape rheology materials by a specially designed spiral stirrer machine.

Key Words : Rheology Forming, Spiral stirrer equipment, Semi-Solid, Microstructure, Mechanical Properties

1. 서 론

레오로지 소재 제품의 개발에 있어서 중요한 요소는 레오로지 소재 제조 장비, 소재의 재가열 방법, 공정조건의 결정 등이다. 일반적으로 레오로지 단조 및 다이캐스팅에 있어서 적절한 공정 변수등을 이용하여 성형하면, 복잡한 형상의 제품 일지라도 기공 등과 같은 결함들이 거의 없는 정밀정형 부품을 생산할 수 있다고 알려져 있다[1].

레오로지 가공 제품의 품질은 기존 공정에 의한 것보다 우수한 것으로 알려져 있으나, 미국 유럽 등 선진국에 비하여 국내에서는 현재 활발하게 사업화가 되고 있지 않다. 이와 같은 이유중의 하나는 산업계에서 레오로지 소재의 원활한 공급이 어려울 뿐만 아니라 관련장비가 국내에서 생산이 되지 않기 때문에 외국업체로부터 높은 가

격으로 수입을 해야 하기 때문이다. 또한, 레오로지 소재 제조장비와 성형장비에 대한 원천기술이 미흡하여 레오로지 성형기술을 대량생산에 응용하지 못하고 있는 실정이다[2]~[3].

국내에서는 고체상태의 빌렛을 재가열하여 성형하는 텍소포밍 연구에 주력하고 있다. 텍소포밍 공정은 세계적으로 많은 연구결과가 소개되고 있으나, 국내에서는 아직까지 장치설계 및 응용기술이 초보단계이며, 현대 산업계에서 아직까지 대량 생산에 응용이 되고 있는 품목이 없는 상황이다.

따라서, 본 연구에서는 미세한 결정립과 균일한 구상화조직을 가지는 레오로지 소재를 특수하게 설계된 교반자를 이용하여 기계적 교반방식을 이용하여 제조하는 장치의 개발을 제시하고, 개발된 장비를 이용하여 제조한 구조용 A6061 알 루미늄 소재의 응용가능성을 검토하였다.

1. 부산대학교 정밀기계공학부

교신저자: 부산대학교 정밀기계공학부, cgkang@pusan.ac.kr

2. 실험

2.1 레오로지 소재 제조

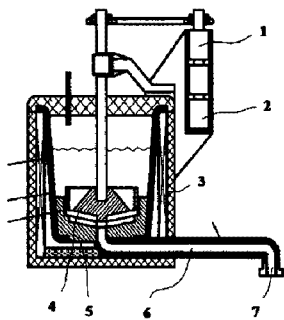
2.2.1 레오로지 소재 제조 실험 장치

알루미늄 합금의 레오로지 소재를 제조하기 위하여 Table 1 과 같은 구조용 A6061 알루미늄 합금을 사용하였다.

Table 1 Chemical composition of A6061 aluminum alloy

Alloy	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Zi	Ti	others
A6061	Min 0.40	-	0.15	-	0.80	0.04	-	-	0.05
	Max 0.80	0.70	0.40	0.15	1.20	0.35	0.25	0.15	0.15

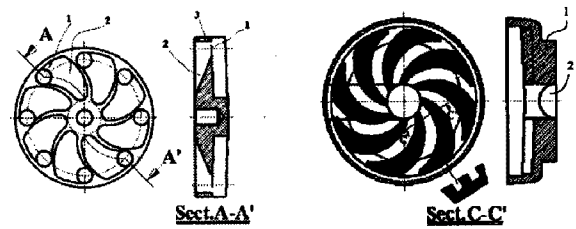
용해된 용탕에 기계적 교반력을 가하여 레오로지 소재를 제조하기 위한 장치는 Fig. 1 에 보이는 바와 같다. 하부교반자는 도가니로써 고정이고 상부교반자는 회전이 가능하도록 하여 하부교반자와 상부교반자의 상호 작용에 의하여 용탕에 기계적 교반을 할 수 있도록 설계하였다.



- (1) Torque meter
- (2) Motor
- (3) Induction coils
- (4) Upper stirrer
- (5) Lower stirrer
- (6) Sleeve
- (7) Gate

Fig. 1 Schematic illustration of mechanical stirring furnace

Fig. 2 에 상·하부 교반자의 형상을 나타내었다. 상부교반자가 하부교반자에 안착되는 면에 나선형상의 홈이 형성되어 있으며, 회전방향은 각각 반대방향으로 형성되어 주입된 용탕이 와류(vortex)를 형성하여 이동되도록 설계되어 있다.



- (1) Gate
- (2) Spiral incline plane
- (3) Upper stirrer

- (1) Lower stirrer
- (2) Exit gate

Upper stirrer

Lower stirrer

Fig. 2 Schematic illustration of upper and lower stirrer

2.1.2 레오로지 소재 제조 실험 조건

Fig. 3 에 DSC 장비를 이용하여 A6061 알루미늄 합금의 온도에 대한 고상율의 관계선도를 나타내었다. DSC 결과에서 성형가능 온도 영역은 665 ~ 645 °C($f_s = 0 \sim 0.5$) 로 20°C 사이의 좁은 구간임을 확인할 수 있었다.

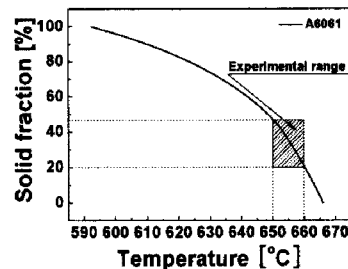


Fig. 3 Relationship between temperature and solid fraction

Table 2 The various experimental conditions of A6061 alloy to fabricate of rheology material

No.	Stirring time, t [sec]	Stirring velocity, V [rpm]	Temperature, T [°C]
1	0	0	650
2	120	60	650
3	300	60	650
4	600	60	650
5	1200	60	650
6	300	20	650
7	300	40	650
8	300	80	650
9	300	100	650
10	300	60	660
11	300	60	670
12	300	60	680

Table 2 에 레오로지 소재를 제조하기 위한 실험 조건을 나타내었다. 실험변수는 교반시간, 교반속도, 용탕온도이다.

2.2 실험 결과

기계 교반 장치를 통해 얻어지는 소재는 별도로 준비된 컵에 받아 급냉하였다. 제조한 소재의 검사를 위하여 일정하게 절단하고 소재용 컵의 중앙부와 벽면부로 나누어 구별하였다. 모식도를 Fig. 4 에 나타내었다.

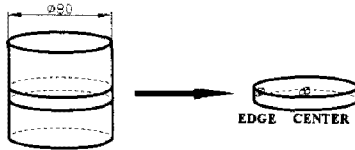


Fig. 4 Position for investigation of microstructure of rheology materials

Fig. 5 에 Table 2 의 실험 조건을 통하여 제조한 A6061 레오로지 소재의 미세조직을 나타내었다. 용탕온도 650°C에서 공정상이 관측되었으며, 액상 온도에서도 초정 α 상의 입계가 관찰되었다.

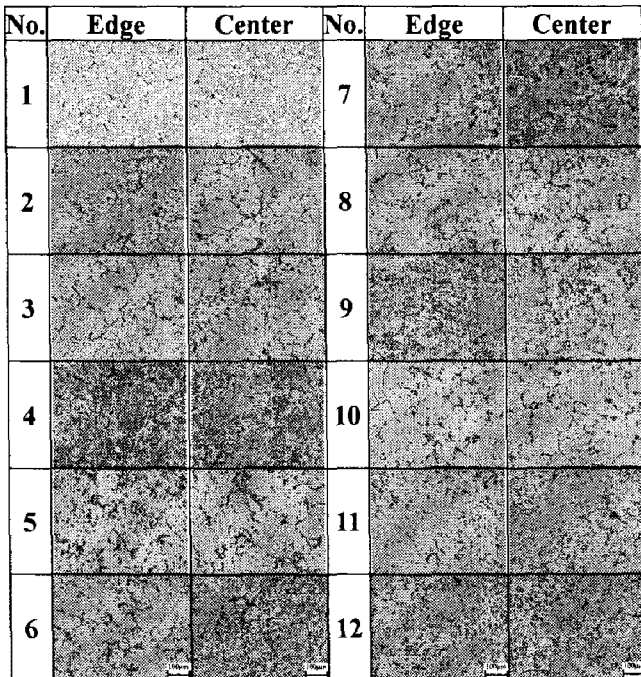


Fig. 5 The microstructures of A6061 alloy obtained by each experimental conditions after mechanical stirring

Fig. 6 에 교반시간, 교반속도, 용탕온도에 따른 레오로지 소재의 등가지름을 나타내었다. 교반시간을 증가시켰을 경우 600 sec 까지 등가지름이 증가하다가 다시 감소하는 경향을 보였으며, 교반속도를 증가시켰을 경우에는 80 rpm 까지 등가지름이 증가하다가 다시 감소하는 경향을 보였다. 용탕온도를 상승시켰을 때에는 660 °C 까지 감소하다가 다시 증가하는 경향을 나타내고 있으며, 등가지름은 45 ~ 65 μm 의 크기 분포를 나타내었다.

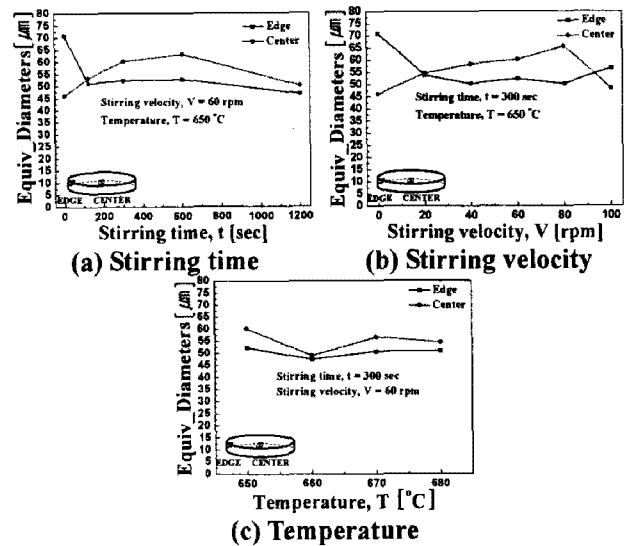


Fig. 6 The equivalent diameters of A6061 alloy after mechanical stirring

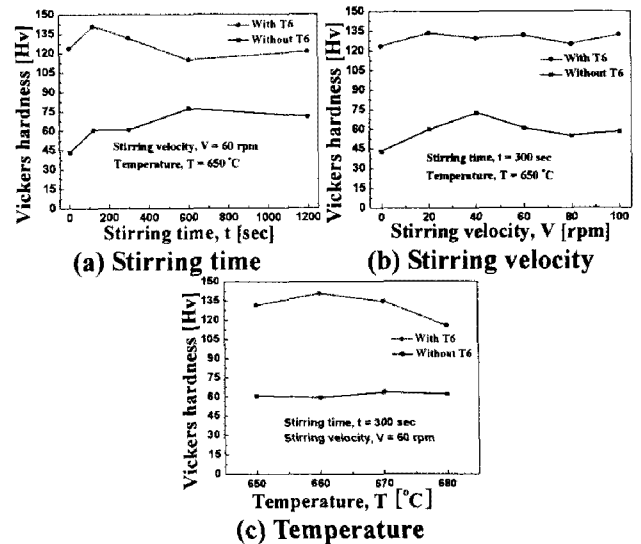


Fig. 7 The Vickers hardness of A6061 alloy after mechanical stirring

Fig. 7 은 기계식 교반을 통하여 제조된 레오로지 소재를 T6 열처리를 실시하였을 때와, 하지 않았을 때의 비커스경도값을 나타낸 것이다. 열처리의 조건은 Table 3 에 나타내었다. 열처리를 실시한 경우와 하지 않은 경우의 비커스경도 측정값은 2 배정도 차이가 나는 것을 확인할 수 있었다.

Table 3 The A6061 alloy T6 heat-treatment conditions

Solution heat-treatment	530 °C	1.5Hr
Ageing	177 °C	8Hr

X-Ray CT-scan 장비를 사용하여 0.2 mm 간격으로 얇게 절단한 단면을 촬영하여 내부에서 발생한 결함을 조사하고, 그 결과를 Fig. 8 에 나타내었다. 교반속도가 빠른 100 rpm 인 #9 실험조건에서 수축공과 내부기공이 많이 분포하고 있는 것을 확인할 수 있었다. 이러한 현상의 원인은 상부 교반자의 회전이 빠를수록 하부교반자와의 상호운동에서 와류가 심하게 발생하여 공기의 포집이 많아진 것으로 판단된다[4]~[5].

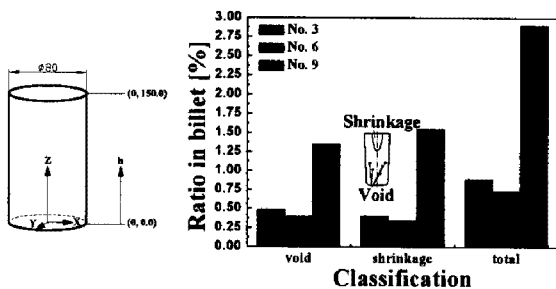


Fig. 8 The void ratio and shrinkage of A6061 alloy obtained under experiment conditions (No. 3, No. 6 and No. 9)

3. 결론

특수하게 설계 제작된 기계식 교반 장치를 이용하여 A6061 알루미늄 합금의 레오로지 소재 제조 실험을 통하여 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

(1) 상·하 교반자의 나선 형상을 서로 반대방향으로 설계하여 와류를 형성함으로써 탁월한 기계식 교반 효과를 얻을 수 있었다.

(2) 구조용 A6061 알루미늄 합금에 대하여 교반 시간, 교반속도, 용탕온도에 대하여 실험한 결과 등가지름 45 ~ 65 μm, 구상화 정도 1.4 ~ 1.6, 비커스경도 60 Hv의 측정값을 얻을 수 있었다.

(3) 구조용 A6061 알루미늄 합금에 대하여 각각 설정된 실험 조건으로 제조한 레오로지 소재의 성질을 측정하기 위하여 MTS 장비를 사용하여 인장시험을 실시하였고, 3D X-Ray CT-scan 장비를 사용하여 소재 내부의 결함을 조사하여 Void ratio and Shrinkage 가 3 vol% 로 측정되어 양호한 상태의 레오로지 소재를 얻을 수 있었다.

후 기

본 연구는 산업자원부 지원하의 신기술실용화 기술개발사업과제의 지원으로 수행되었습니다

참 고 문 헌

- [1] G. Chiarmetta, 1996, "Thixoforming of Automobile Components", Proc. Of the 4th Int. Conf. on Semi-solid Processing of Alloys and Composites, pp. 204 ~ 207.
- [2] C. G. Kang and H. K. Jung, "Semisolid Forming Process-Numerical Simulation and Experimental Study", Metallurgical and Materials Transactions, Vol. 32B, pp. 363 ~ 372.
- [3] C. G. Kang and H. K. Jung, 2001, "A study on Solutions for Avoiding Liquid Segregation Phenomena in Thixoforming Process: Part II. Net Shape Manufacturing of Automotive Scroll Component", Metallurgical and Materials Transactions, Vol. 32B, No. 1, pp. 129 ~ 136.
- [4] 서판기, 고재홍, 강충길, 2005, "가압회전식 장비를 이용한 A356 합금의 미세조직과 재가열 특성", 2005년도 한국소성가공학회 추계학술대회 논문집, pp. 227 ~ 230.
- [5] A Hellawell, 1996, "Grain evolution in conventional and rheo-castings", Proceedings of the 4th International Conference on Semi-Solid Processing of Alloys and Composites, Sheffield, June 1996, pp. 60 ~ 65.