

나선형 기계 교반 장치를 이용한 Al 합금 레오로지 소재의 제조

배정운¹ · 한수훈¹ · 강충길[#]

Manufacture of Aluminum Alloy Rheology Materials Using Spiral Stirring Equipment

J. W. Bae, S. H. Han, C. G. Kang

(Received May 10, 2007)

Abstract

Recently, industries and academic institutes have been interested in the rheology forming technology for light weight materials. However, this rheocasting process has advantages such as the high initial investment cost and the lower mechanical properties than thixocasting. In this study, the continuous fabrication of rheological material with a spiral stirring equipment(mechanical stirring system) was newly devised to overcome the disadvantages of rheocasting process. The experimental parameters were stirring time(0~1200sec), stirring velocity (0~100rpm) and stirring temperature(650~680℃). The optimal conditions for fabricated rheological material of A6061 alloy were stirring time at 300sec, stirring velocity at 60rpm and stirring temperature at 650℃. At these results, the equivalent diameter was 45~65 μ m, mean roundness was 1.4~1.6 and Vickers hardness was 60Hv.

Key Words : Rheology Forming, Spiral Stirring Equipment, Semi-Solid, Microstructure

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 가공 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 생

산이 되지 않기 때문에 외국업체로부터 높은 가격으로 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 대량생산에 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

1. 부산대학교 정밀기계공학과

교신저자: 부산대학교 기계공학과, 정밀정형 및 금형가공 연구센터, E-mail: cgkang@pusan.ac.kr

장비를 이용하여 제조한 구조용 A6061 알루미늄 소재의 응용가능성을 검토하였다.

2. 실험

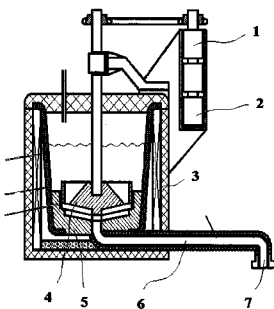
2.1 레오로지 소재 제조

2.1.1 레오로지 소재 제조 실험 장치

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

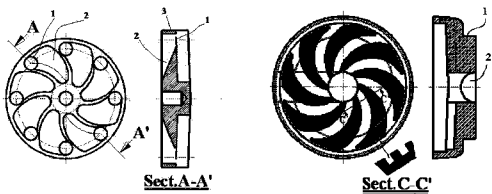
Table 1 Chemical composition of A6061 aluminum alloy

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



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

Fig. 1 Schematic of mechanical stirring system



- (1) Gate
- (2) Spiral incline plane
- (3) Upper stirrer
- (a) Upper stirrer
- (1) Lower stirrer
- (2) Exit gate
- (b) Lower stirrer

Fig. 2 Schematics of upper and lower stirrer

용해된 용탕에 기계적 교반력을 가하여 레오로지 소재를 제조하기 위한 장치는 Fig. 1에 보이는 바와 같다. 하부교반자는 도가니로에 고정되어 있고 상부교반자는 회전이 가능하도록 하여 하부교반

자와 상부교반자의 상호 작용에 의하여 용탕에 기계적 교반을 할 수 있도록 설계하였다.

Fig. 2에 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.

2.1.2 레오로지 소재 제조 실험 조건

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

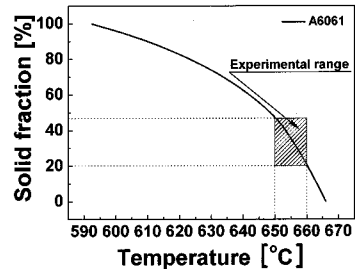


Fig. 3 Relationship between temperature and solid fraction of A6061 alloy

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

Table 2 Experimental conditions for rheology material with mechanical stirrer

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

2.2 실험 결과

기계 교반 장치를 통해 얻어지는 소재는 별도로 준비된 컵에 받아 급냉하였다. 제조한 소재는 중앙부와 벽면부로 나누어 조직을 관찰하였으며, 그 모식도를 Fig. 4에 나타내었다.

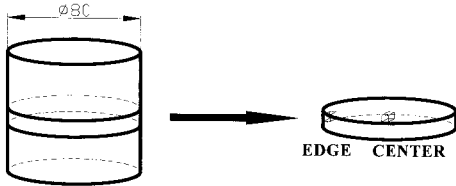


Fig. 4 Schematic of observation point for microstructure

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

No.	Edge	Center	No.	Edge	Center
1			7		
2			8		
3			9		
4			10		
5			11		
6			12		

Fig. 5 Microstructures of stirred A6061 alloy at experimental conditions shown in Table 2

Fig. 7에 교반시간, 교반속도, 교반온도에 따른 레오로지 소재의 등가지름을 나타내었다. 교반시간을 증가시켰을 경우 600sec까지 등가지름이 증가하다가 다시 감소하는 경향을 보였으며, 교반속도를 증가시켰을 경우에는 80rpm까지 등가지름이 증가하다가 다시 감소하는 경향을 보였다. 교

반온도를 상승시켰을 때에는 660°C까지 감소하다가 다시 증가하는 경향을 나타내고 있으며, 등가지름은 45~65 μ m의 크기 분포를 나타내었다. 이는 기계식 교반 전 조대한 장미상으로 입계의 구분이 명확하지 않았던 것과 비교하여 결정립이 균등, 미세화 된 것을 나타내고 있다. Fig. 6은 기계식 교반을 하지 않은 소재의 미세조직 사진이다.

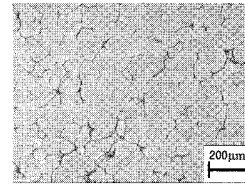


Fig. 6 Microstructure of as-cast billet of A6061

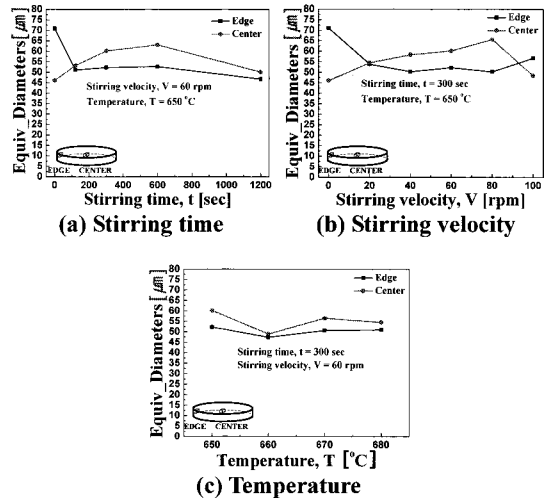


Fig. 7 Equivalent diameters of A6061 alloy after mechanical stirring

Fig. 8은 각각의 조건에서 제조된 소재의 T6 열처리 전, 후의 비커스 경도를 비교하여 나타낸 것이다. T6 열처리 조건은 Table 3에 나타내었으며 T6 열처리 전, 후의 비커스 정도 값은 열처리 후가 열처리 전과 비교하여 약 2배가 높게 나타났다.

X-Ray CT-scan 장비를 사용하여 0.2mm 간격으로 얇게 절단한 단면을 촬영하여 내부에서 발생한 결함을 조사하고, 그 결과를 Fig. 9에 나타내었다. 교반 속도가 빠른 100rpm 인 #9 실험조건에서 수축공과 내부기공이 많이 분포하고 있는 것을 확인할 수 있었다. 이러한 현상의 원인은 상부교

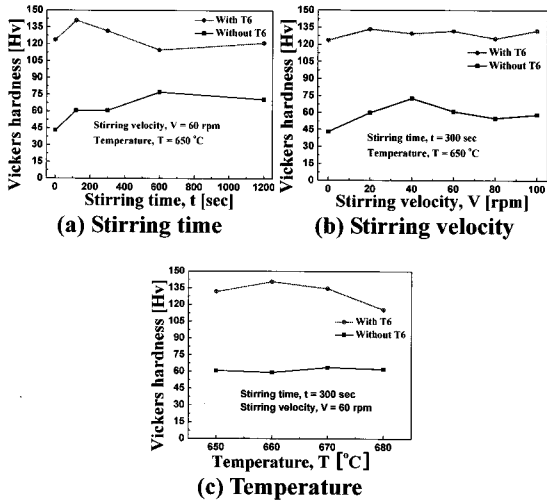


Fig. 8 Vickers hardness of A6061 alloy after mechanical stirring

Table 3 T6 heat-treatment condition for A6061

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

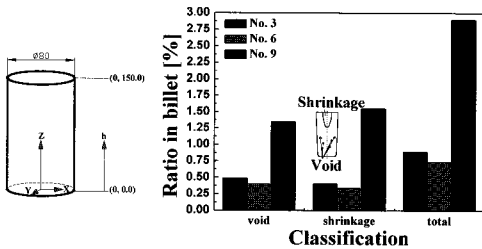


Fig. 9 Void ratio and shrinkage of A6061 alloy obtained under experiment condition numbers 3, 6 and 9 shown in Table 2

반자의 회전이 빠를수록 하부교반자와의 상호운동에서 와류가 심하게 발생하여 공기의 포집이 많아진 것으로 판단된다[4-5].

3. 결론

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

(1) 상·하 교반자의 나선 형상을 서로 반대방

향으로 설계하여 와류를 형성함으로써 기계식 교반 효과를 얻을 수 있었다.

(2) 구조용 A6061 알루미늄 합금에 대하여 교반 시간, 교반속도, 교반온도를 변수로 하여 제조된 레오로지 소재의 등가지름은 45~65 μ m, 구상화 정도는 1.4~1.6, 비커스경도 값은 60Hv 이었다.

(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 기공 및 수축공의 함유량이 3vol% 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, H. K. Jung, Semisolid Forming Process-Numerical Simulation and Experimental Study, Metallurgical and Materials Transactions, Vol. 32B, pp. 363~372.
- [3] C. G. Kang, 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] P. K. Seo, J. H. Ko, C. G. Kang, 2005, Characteristics of Microstructure and Reheating of A356 Aluminum Alloy by Pressure Rotation Equipment, 2005 Proceeding of the Korean Society for Technology of Plasticity in autumn, 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.