

나선형 기계 교반 장비로 제조된 레오로지 소재의 Thixoforging 공정

정일갑¹ · 한수훈¹ · 배정운¹ · 강충길[#]

Thixoforging Process of Rheology Materials Fabricated by Spiral Mechanical Stirring Equipment

I. K. Jung, S. H. Han, J. W. Bae, C. G. Kang

(Received May 10, 2007)

Abstract

As the semi-solid forming technology has a lot of advantages compared to the die casting, squeeze casting and hot/cold forging, it has been studied actively. This paper focuses on the thixoforging of the rheological materials fabricated by the spiral mechanical stirring equipment with A356 casting aluminum alloy and A6061 wrought aluminum alloy. Formability tests of rheological materials fabricated by spiral mechanical stirring were carried out and the microstructures of forged sample were observed. After thixoforging experiment, the heat-treated conditions of forged samples are investigated to improve the mechanical properties. These results are able to suggest the possibility of commercialization for rheological materials fabricated by spiral mechanical stirring.

Key Words : Semi-solid Forming, Spiral Stirring Equipment, Thixoforging, Microstructure

1. 서론

일반적으로 복잡한 형상의 부품은 주·단조를 통해 제조되거나 주조품은 기공 등 많은 미세 조직상의 결함을 가지고 있기 때문에 기계적 특성에 많은 한계가 있다. 반면, 열간단조 및 열간 압출 등과 같은 고체 상태에서의 정형가공은 주조품의 미세결함을 제거하여 기계적 특성을 향상시킬 수 있는 장점이 있다. 그러나 정미 부품 성형의 성형 압력이 높아지는 단점이 있으며 절삭 등의 후가공으로 인한 생산·경제성에 손실이 뒤따른다. 이러한 문제점을 해결하기 위하여 원소재로부터 최종 형상에 가장 가까운 부품(near-net shape)을 성형하기 위한 반응용 가공법에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다[1].

반응용 성형이란 액상과 고상이 공존하는 온도 영역 즉, 상태도 상에서 고상선과 액상선 사이의 온도영역에서 최종부품에 가깝게 성형하는 방법으로 틱소(Thixo) 성형법과 레오(Rheo) 성형법으로 분류하고 있다. 틱소 성형 공정은 제조된 빌렛을 재가열 과정을 거쳐 반응용 상태로 만들어 성형하는 방법이며, 레오 성형 공정은 용탕으로부터 온도를 강하시켜 반응용 상태로 만들어 성형하는 방법이다. 레오로지 소재 제조에 있어 응고 시 발생하는 수지상 조직을 파쇄하여 입자를 구상화시켜 반응용 상태의 소재를 제조하기 위한 방법으로 기계 교반과 전자 교반의 연구가 진행되고 있다. 본 연구에서는 나선형 기계 교반법으로 제작되어진 반응용 소재의 틱소포징 공정의 활용가능성을 알아보기로 주조용 A356 알루미늄 합금과

1. 부산대학교 정밀기계공학과
교신저자 : 부산대학교 기계공학부, 정밀정형 및 금형가공 연구센터, E-mail: cggkang@pusan.ac.kr

구조용 A6061 알루미늄 합금을 나선형 기계 교반 장치를 사용하여 빌렛 형상의 레오로지 소재를 제조하였다. 제조된 빌렛을 재가열하여 틱소포징 공정을 시행하였다. 틱소포징 공정을 통해 얻어진 제품의 미세조직을 관찰하고 T6 열처리 시행 후 기계적 성질을 검토하였다. 또한, 이러한 일련의 과정을 통하여 나선형 기계 교반을 통한 연속적인 레오로지 소재 제조와 제조된 소재의 틱소포징 공정을 통하여 산입화 활용가능성을 파악하고 고강도 알루미늄 합금 부품의 개발에 관한 기초 성형 데이터 베이스를 구축하고자 한다.

2. 실험

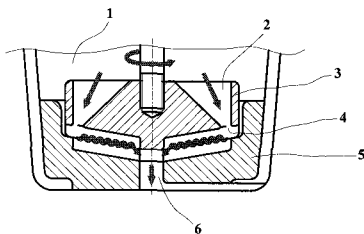
2.1 실험방법

실험에 사용된 소재는 구조용 합금으로 주로 사용되는 A356 합금과 구조용 A6061 합금을 사용하였다. Table 1 은 A356 및 A6061 합금의 구성비를 나타낸 것이다[2].

Table 1 Chemical compositions of A356 and A6061 alloys

Alloy	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Ni	Zn	Ti	others
A356	Min 6.50	-	-	-	0.25	-	-	-	-	0.05
	Max 7.500	0.200	0.200	0.100	0.45	-	-	0.100	0.20	0.15
A6061	Min 0.40	-	0.15	-	0.800	0.04	-	-	-	0.05
	Max 0.800	0.700	0.400	0.151	2.00	0.35	-	0.250	0.15	0.15

레오로지 소재를 제작하기 위한 나선형 기계 교반 장치의 구성은 Fig. 1 과 같다.



- (1) Molten metal
- (2) Spiral incline plane
- (3) Upper stirrer
- (4) Gate
- (5) Lower stirrer
- (6) Exit gate

Fig. 1 Moving direction of molten metal during mechanical stirring

먼저 전기로에 용해되어 있는 용탕을 나선형

기계 교반 장치에 주입한다. 주입된 용탕은 상부 교반자의 나선형의 경사로를 따라 게이트를 통과하게 되고 상부교반자와 하부교반자의 나선형상의 홈에서 와류흐름이 발생 중심방향으로 흘러가 출구를 거쳐 나오게 된다.

레오로지 소재 제조 시 교반조건은 A356합금의 경우 교반시간 300sec, 교반속도 60rpm, 용탕온도 620℃ 로, A6061합금은 교반시간 300sec, 교반속도 60rpm, 용탕온도 650℃ 로 시행하였다. 이 조건에서 A356 합금은 등가치름 40~90 μ m, 구상화 정도 2.0, 비커스경도 50Hv를, A6061 합금은 등가치름 45~65 μ m, 구상화 정도 1.4~1.6, 비커스 경도 60Hv의 양호한 소재를 얻을 수 있었다[4~5].

제조한 소재는 산업화 검증을 위하여 틱소포징 성형 실험을 수행하였다. 틱소포징 성형 실험을 위하여 온도, 시간 및 전력량을 조절할 수 있는 50kW 고주파 유도 가열 장비를 사용하여 레오로지 소재를 재가열 하였다.

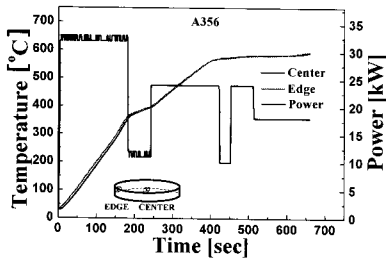
Table 2 는 틱소포징 성형 실험을 위한 재가열 조건을 나타낸 것이다. A356 합금은 595℃, A6061 합금은 652℃를 목표로 각 6 단계의 조절로써 목표온도에 도달하도록 하였고 소재의 선단부와 중앙부에 온도센서를 설치하고 검출되는 두 위치의 온도가 같이 상승하여 목표한 온도에 수렴하도록 가열시간과 전력량을 결정하여 가열하였다[3].

Table 2 Reheating conditions of A356 and A6061 alloys

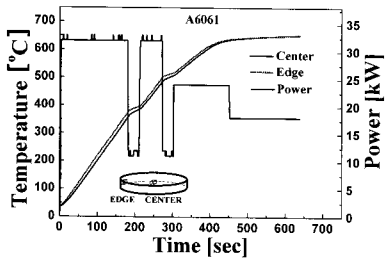
Alloy	Step	1	2	3	4	5	6
		A356 595℃					
	Time(sec)	180	60	180	30	60	600
	Power(kW)	35	10	25	8	25	18
A6061 652℃							
	Step	1	2	3	4	5	6
	Time(sec)	180	30	60	30	150	600
	Power(kW)	35	10	35	10	25	18

Fig. 2는 Table 2에서 설정한 조건으로 재가열을 실시하였을 때 전력량과 시간에 대하여 레오로지 소재의 선단부와 중앙부에서 측정된 온도가 거의 같이 상승하여 목표온도에 수렴하는 것을 보여주고 있다.

재가열된 소재는 Fig. 3에 보이는 바와 같이 단 형상을 가진 금형과 재가열된 소재에 압력을 가할 수 있도록 장치된 프레스를 사용하여 150 MPa의 가압력을 가하여 틱소포징 성형 실험을 수행하였다.

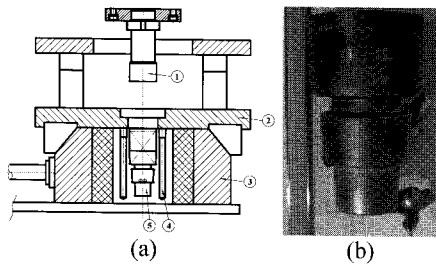


(a) A356 alloy to 595°C



(b) A6061 alloy to 652°C

Fig. 2 Relationship between input power and measured temperature during reheating for thixoforging process



①Punch, ②Clamp, ③Die, ④Cartridge heater, ⑤Cavity
Fig. 3 Schematics of thixoforging die and thixo-forged sample

2.2 실험 결과

직접식 텍소포징 성형 실험 결과 Fig. 3에서 보여주는 형상의 제품을 얻었으며 결정립의 관찰을 위하여 Fig. 4에 표시한 위치 (a)~(d)에서 A356 및 A6061 합금의 미세조직을 관찰하였다. 또한, 기계적 물성을 평가하고자 성형된 제품을 Table 3에 나타난 열처리 조건으로 T6 열처리를 실시하였으며 Fig. 4에 표시한 Position 1, 2에서 인장 시편을 가공하여 T6 열처리 전, 후의 인장 시험을 수행하여 열처리에 따른 기계적 물성치 변화를 관찰하였다.

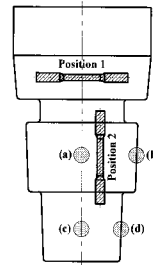
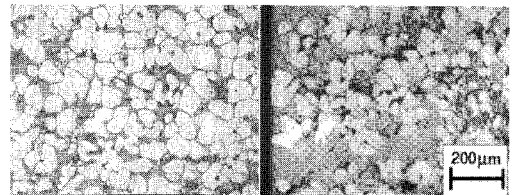


Fig. 4 Positions of specimen to observe the microstructure and to perform tensile test

Table 3 T6 heat-treatment conditions

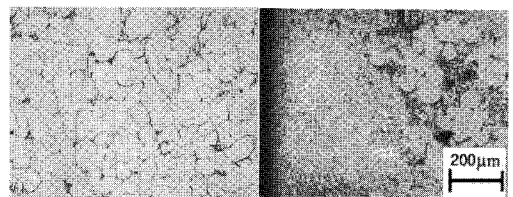
	A356	A6061
Solution heat-treatment	520°C 3Hr	530°C 1.5Hr
Ageing	170°C 6Hr	177°C 8Hr

Fig. 6은 성형 실험 후 Fig. 5에 표시한 위치 (a), (d)에서 A356 합금과 A6061 합금의 미세조직을 관찰한 것이다.



(a) (d)

A356 alloy



(a) (d)

A6061 alloy

Fig. 5 Microstructures of A6061 and A356 alloys after thixoforging process at each position

A356 시편 조직은 재가열된 소재에 성형 압력을 가하였을 때, 유동성이 좋은 액상이 먼저 금형의 캐비티에 충전이 되어 (d) 위치에서 액상편석이 나타났으며, (c) 위치에서는 액상과 고상이 고루 분포하였다. 상대적으로 늦게 충전이 되는 (b) 위치에서는 금형의 벽면부에만 액상이 존재하였

으며, (a) 위치에서는 고상과 액상의 구별이 뚜렷하게 나타났다.

A6061 시편 조직에서도 (d) 위치에 서 대부분의 액상편석이 나타났으며, (c) 위치에서는 액상과 고상의 고루 분포하였다. (b) 위치에서는 금형의 벽면부에만 액상이 존재하는 것을 보였고, (a) 위치에서는 고상만이 나타나는 것을 보이고 있다.

액상편석으로 인한 결함은 열처리를 통하여 보완할 수 있을 것으로 판단되었으며 그 결과는 열처리 전, 후의 인장 시험으로 얻은 기계적 물성치를 통하여 명확해졌다. 이는 열처리 과정 중 용체화 처리시 액상편석 조직이 결정립을 생성 고상입자화 된 것으로 사료된다.

Fig. 6 은 A356 및 A6061 합금의 T6 열처리 전, 후의 인장시험 결과이다. T6 열처리 후에 열처리 전과 비교하여 각각 105MPa, 100MPa 향상된 인장강도 320MPa 와 330MPa 이 측정되었다.

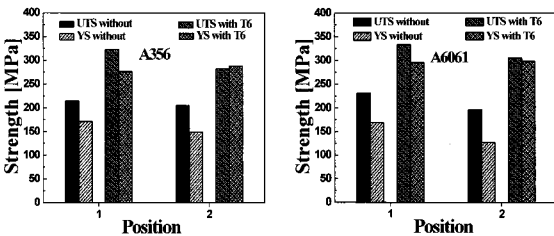


Fig. 6 Results of tensile test of A356 and A6061 alloys

Fig. 7 는 A356 및 A6061 합금의 T6 열처리 전, 후의 연신률을 나타낸 것이다. A356 합금은 열처리 후 7.0%로 측정되었고, A6061 합금은 열처리 후 9.5%로 측정되었다.

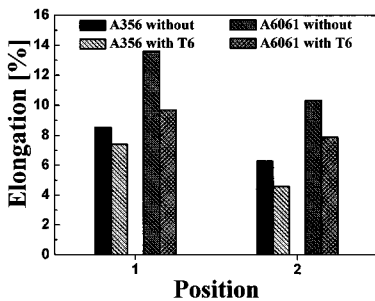


Fig. 7 Elongation of A356 and A6061 alloys with and without heat treatment

3. 결론

나선형 기계 교반을 이용하여 A356 및 A6061 합금의 레오로지 소재를 제조한 후 텍소포징 성형 실험을 실시하여 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

(1) 나선형 기계 교반법으로 제조된 레오로지 소재를 150MPa의 가압력으로 텍소포징 성형실험을 수행하여 A356합금은 인장강도 320MPa, 연신률 7%를, A6061합금은 인장강도 330MPa, 연신률 9.5%의 측정값을 얻을 수 있었다.

(2) 고액공존 구간에서 나선형 기계 교반법을 이용하여 주·구조용 알루미늄 합금을 대상으로 연속적인 레오로지 소재를 제조한 후 텍소포징 성형 가능성 평가를 하였고, 향후 제품생산에 적용이 가능한 데이터 베이스를 구축하였다.

후 기

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

참 고 문 헌

- [1] M. C. Flemings, 1991, Behavior of Metal Alloys in the Semi-Solid State', Metallurgical Transaction A. Volume 22A, pp. 957~981.
- [2] Howard E. Boyer, Timothy L. Gall, 1985, Metals handbook Desk Edition, American Society for Metals.
- [3] W. G. Cho, C. G. Kang, 2000, Mechanical properties and their microstructure evaluation in the thixoforming process of semi-solid aluminum alloys, Journal of Materials Processing Technology, 105, pp. 269~277.
- [4] Wang Deqing, Shi Ziyuan, Zou Longjiang, 2003, A liquid aluminum corrosion resistance surface on steel substrate, Applied Surface Science, Vol. 214, pp. 304~311.
- [5] 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.