

나선형 교반기로 제조되어진 레오로지 소재의 간접 Thixoforging 공정 Indirect Thixoforging Process with Rheology Material Fabricated by Spiral Stirrer

*정일갑¹, #강충길², 한수훈³

*I. K. Jung¹, #C. G. Kang(cgkang@pusan.ac.kr)², S. H. Han³

¹ 부산대학교 정밀기계공학과, ² 부산대학교 기계공학부, ³ 부산대학교 정밀기계공학과

Key words : Spiral stirrer equipment, Indirect Thixoforging, Microstructure, Mechanical Properties

1. 서론

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.

국내에서는 고체상태의 빌렛을 재가열하여 성형하는 틱소포밍 연구에 주력하고 있다. 틱소포밍 공정은 세계적으로 많은 연구결과가 소개되고 있으나, 국내에서는 아직까지 장치설계 및 응용기술이 초보단계이며, 현대 산업계에서 아직까지 대량 생산에 응용이 되고 있는 품목이 없는 상황이다.[1]

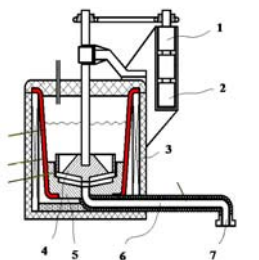
본 연구에서는 나선형 기계 교반법으로 제작되어진 반응용 소재의 틱소포징 공정의 활용 가능성을 알아보고자 주조용 A356 합금과 구조용 A6061 합금을 나선형 기계 교반 장치를 이용하여 빌렛 형태의 레오로지 소재를 제조하였다. 제조된 빌렛을 재가열하여 간접 틱소포징 공정을 시행 미세조직을 관찰하고 T6 열처리 시행 후 기계적 성질을 검토하였다. 이러한 일련의 과정을 통하여 나선형 기계 교반을 통한 레오로지 소재의 틱소 포징 공정 활용 가능성을 파악하고 데이터 베이스를 구축하고자 한다.

2. 실험 방법

본 실험에서는 간접 틱소 단조 실험을 통하여 나선형 기계식 교반 장치를 이용하여 제작된 레오로지 소재의 유동성과 가압력의 전달효과를 알아보려고 하였다. Table 1 은 간접 틱소 단조 공정에 사용된 A356 합금과 A6061 합금의 주요성분을 나타내고 있다.

Table 1 Chemical composition of A356 aluminum alloy

Alloy	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Ni	Zn	Sn	Ti	others
A356	Min	6.50	-	-	0.25	-	-	-	-	-	0.05
	Max	7.50	0.20	0.20	0.10	0.45	-	0.10	-	0.20	0.15
A6061	Min	0.5	0.1	0.15	0.3	0.8	0.1	-	-	0.015	0.05
	Max	0.8	0.3	0.3	0.4	1.2	0.35	-	-	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 illustration of mechanical stirring furnace

레오로지 소재를 제작하기 위한 나선형 기계 교반 장치의 구성은 Fig. 1 에 나타내었다. 교반자의 나선형 경사로를 따라 게이트를 통과하게 되고 상부교반자와 하부 교반자의 나선형상의 홈에서 와류흐름이 발생 중심방향으로 흘러가 출구를 거쳐 나오게 된다.

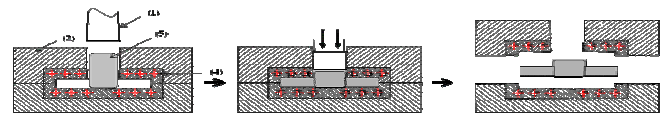
A356 합금의 레오로지 소재 제조 조건은 교반시간 300sec, 교반속도 60rpm, 용탕온도 620℃ 로 선정하였으며 이때 등가지름 40 ~ 90 μm, 구상화 정도 2.0, 비커즈경도 50 Hv 의 측정값을 얻을 수 있었다. A6061 합금의 레오로지 소재 제조 조건은 교반시간 300sec, 교반속도 60rpm, 용탕온도 650℃로 선정하였으며 등가지름 45 ~ 65 μm, 구상화 정도 1.4 ~ 1.6, 비커즈경도 60 Hv 의 측정값을 얻을 수 있었다.

Table 2 은 간접 단조 실험을 위한 재가열 조건을 나타낸 것이다. A356 합금은 595℃(고상율 49%)를 목표로 하였다. A6061 합금은 652℃(고상율 45%)를 목표로 하여 목표 온도에 도달하도록 가열시간과 전류값을 결정하여 빌렛의 형상이 무너지지 않도록 설정 온도까지 가열하게 된다.[2]

Table 3 The reheating conditions of A356 and A6061 alloys

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

입력 데이터를 전류값과 시간 하였을 때 제 2 단계에서는 입력 전류를 10kw 로 하여 시험편의 중앙부분과 끝단부의 온도 변화를 가능한 적게 하도록 하였다.



(a) Inserting of billet (b) Thixo forming (c) Extracting
(1) Punch (2) Upper die (3) Lower die (4) Heater (5) Rheo slurry

Fig. 2 Schematic of direction indirection rheo-forging process

Fig. 2 는 간접 가압식 단조 공정의 순서를 도시적으로 보여주고있다. 간접식 단조 금형은 상하 분할형 금형으로 되어있다. 프레스의 하판과 하부금형을 결합하였고 메인 실린더에 펀치를 연결하여 클램프 실린더의 압력이 금형의 형체력으로 직접 전달될 수 있도록 설계하였다. 또한 금형의 온도 제어를 위하여 카트리지 히터를 사용하였으며 금형의 온도는 250℃로 유지하였다. 220MPa 가압력을 가하여 시험을 수행하였다.

3. 실험 결과

간접식 틱소 단조 실험을 수행한 후 Fig. 4 에 표시한 위치 ① ~ ④ 에서 A356 및 A6061 미세조직을 관찰하였다.

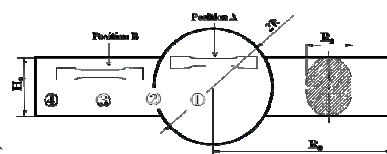


Fig. 4 Position of specimen to tensile

성형된 제품을 Table 4에 나타난 열처리 조건으로 T6 열처리를 실시하였으며 Fig. 4에 표시한 Position 1, 2, 에서 인장 시편을 가공하여 열처리 전, 후의 인장 시험을 수행하여 물성치를 조사하였다.

Table 4 The A356 and A6061 alloys T6 heat-treatment conditions

	A356	A6061
solution heat-treatment	520°C 3Hr	530°C 1.5Hr
ageing	170°C 10Hr	177°C 8Hr

Fig. 5은 A356 합금을 이용하여 성형한 제품의 미세조직을 관찰한 모습이다. 위치 ③ 및 ④에서는 액상 편석을 관찰할 수 있었다. 이것은 압축 시 액상의 빠른 유동으로 인하여 발생하게 되고, 고액 분리현상이 압축율이 증가할 때, 더욱 활발히 일어나는 것으로 사료되어진다. 그러나, 압축율이 84%가 되어 밀폐형 다이에 소재가 완전 충전하게 되면 압축하기 전과 같이 고·액상의 분포가 균일하게 된다. 그 모습은 위치 ②에서 보여진다. 한편 편치와 접촉하고 직접 가압되는 위치 ①은 가압력에 의하여 액상이 감소하고 고상 입자가 압착된 모습이 관찰되었다.

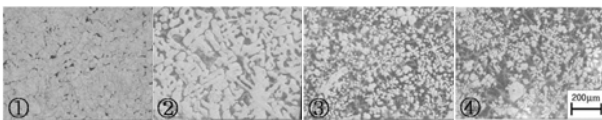


Fig. 5 Microstructures of A356 alloy after thixoforming process

Fig. 6은 A6061 합금을 이용하여 성형한 제품의 미세조직을 관찰한 모습이다. 단조 공정중 고상율이 제어된 소재의 충전이 진행되는 위치 ③ 및 ④에서는 액상과 고상이 균일하게 분포되어 있는 모습이 관찰되었다. A6061 합금 제품 또한 편치와 접촉하고 직접 가압되는 위치 ①에서는 액상의 감소 현상과 고상 입자의 압착된 모습을 관찰할 수 있었다.

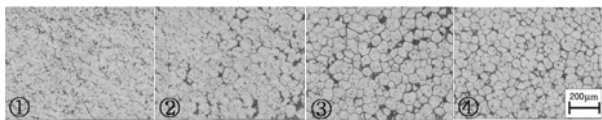


Fig. 6 Microstructures of A6061 alloy after thixoforming process

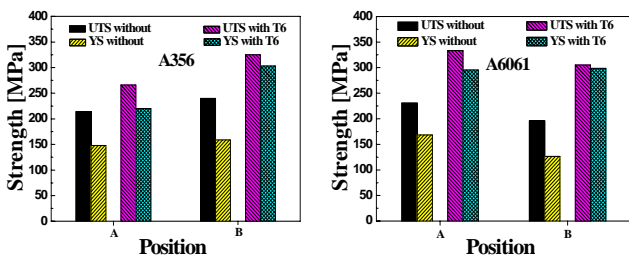


Fig. 7 The strength of A356 and A6061 alloys of obtained specimen at each position

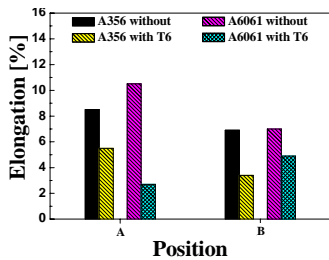


Fig. 8 The elongation of A356 and A6061 alloys at each position

Fig. 7은 A356 및 A6061 합금의 T6 열처리 전, 후의 인장 시험 결과이다. 성형압력이 직접 작용되어 액상이 감소하고 고상 입자들이 압착된 위치 A에 비하여 유동 양상에 의하여 액상과 고상이 균일하게 분포되어 있는 위치 B에서 전반적으로 높은 강도 값이 측정되었다 T6 열처리 후에

열처리 전과 비교하여 각각 85 MPa, 138 MPa 향상된 인장 강도 325 MPa와 340 MPa이 측정되었다.

Fig. 8은 A356 및 A6061 합금의 T6 열처리 전, 후의 연신율을 나타낸 것이다. A356 합금은 열처리 후 5.5%로 측정되었고, A6061 합금은 열처리 후 4.9%로 측정되었다.

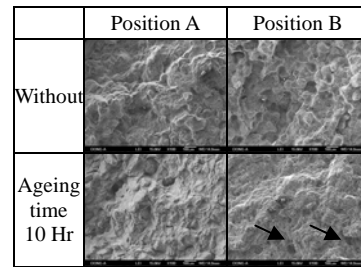


Fig. 15 Photographs of SEM at fracture surface of A356 alloy after tensile test at each experiment heat treatment

Fig. 15은 A356 합금의 위치 A, B에서 시편의 파단면을 나타낸 것이다. 시효 처리 시간을 10시간으로 한 위치 B의 연신율은 3.4%로 현저히 낮은 값을 측정되었는데 파단면을 관찰한 결과 기공의 존재를 확인할 수 있었다.

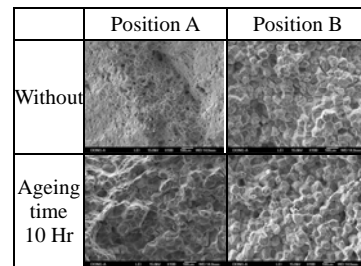


Fig. 16 Photographs of SEM at fracture surface of A6061 alloy after tensile test at each experiment heat treatment

Fig. 16은 A6061 material A 합금의 위치 A, B에서의 파단면을 나타낸 것이다. 위치 A의 열처리를 하지 않은 시편의 경우 성형압력의 직접적인 작용으로 액상 감소와 고상 입자의 압착된 모습을 보였으며 파단면의 형상과 모양이 높은 연성 파괴된 모습을 관찰할 수 있었다. 이때 연신율은 13.4%로 높은 값이 측정되었지만 인장강도는 204MPa로 측정되었다.

4. 결론

1. 간접 단조 실험 후 제품의 미세 조직을 관찰하여 소재의 유동에 의하여 충전 현상이 일어나는 부분에서는 액상과 고상이 같이 분포하는 모습이 나타남을 알 수 있었다.
2. 나선형 기계 교반법으로 제조된 레오로지 소재를 220MPa의 가압력으로 간접 단조 실험을 수행하여 A356 합금은 최대 인장강도 325MPa, 연신율 5.5%를 A6061 합금 최대 인장강도 340MPa, 연신율 4.9%의 측정 값을 얻을 수 있었다.

후기

본 연구는 산업자원부 지원하의 신기술실용화 기술개발사업과제의 지원으로 수행되었습니다.

참고문헌

1. C. G. Kang, H. K. Jung, "Semi-Solid Forming Process-Numerical Simulation and Experiment Study", Metallurgical and Materials Transactions, Vol. 32B, pp. 363 ~ 372.
2. 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.