

회전식 바렐 장치에 의한 레올로지 소재의 연속 제조 공정

서판기* · 정용식* · 강충길**

Continuous Fabrication Process of Rheology Material by Rotational Barrel Equipment

P. K. Seo, Y. S. Jung and C.G. Kang

Abstract

The new rheology fabrication process has been developed to rheo die casting and rheo forming process. Thixoforming process has disadvantages in terms of induction reheating process, scrap recycling, loss of raw material and cycle time. Therefore, to reduce the number of process, new rheology fabrication process with specially designed the rotational barrel type equipment has been proposed to apply in various part productions. The barrel type equipment, which could continuously fabricate the rheology material, was specially designed to have a function to control cooling rate, shear rate and temperature. During the continuous rotation of barrel with a constant temperature, the shear rate is controlled with the rotation speed. The barrel surface has both the induction heating system and the cooling system to control the temperature of molten metal. By using this system, the effect of the rotation speed and the rotation time on the microstructure was widely examined. The possibility for the rheoforming process was investigated with microstructural characteristic.

Key Words : Rheo Die Casting, Barrel Type Equipment, Microstructure, Solid Fraction

1. 서론

최근 자동차 경량화 문제로 알루미늄 소재의 부품 제조 공정에 관한 경쟁이 치열하다. 알루미늄 부품소재 제조방법은 크게 고상 공정인 단조 공정과 액상공정인 주조공정으로 구분되고 있다. 그러나 두 공정의 장점을 이용한 텍소(thixo) 성형 공정과 레올로지(rheology) 성형공정에 관한 연구가 최근 많이 수행되고 있으나 공정의 불안정, 고가의 장비 가격 때문에 실용화가 지연되고 있다. 특히 텍소 성형공정의 단점을 획기적으로 보완할 수 있는 레올로지 성형공정이 최근 연구의 대상

이 되고 있으며, 실용화를 위한 금형 설계 기술과 부품 설계가 시작되면서부터 결정립이 제어된 소재의 제조 기술에 관심이 세계적으로 집중되고 있다[1],[2]. 결정립이 제어된 레올로지 소재의 제조 기술에 관한 연구로서는 일본 UBE사에서 액체 상태의 소재를 용기에 주입한 후 냉각공정을 거쳐 응고한 결정립 제어 소재를 저주파로 가열하여 성형기에 주입하는 방법을 제시하고 있다[3]. UBE사의 장비는 대량 생산 공정에서 불량률, 공정의 복잡성, 온도 및 장비 운전에 필요한 제어 기술의 정밀도 및 고가의 장비 가격 때문에 기대만큼 활용이 되지 못하고 있다.

* 부산대학교 정밀기계공학과 대학원

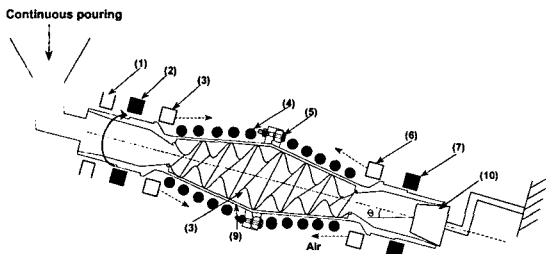
** 부산대학교 기계공학부

따라서 레올로지 소재를 제조하기 위해서 스크류를 이용한 방법[4],[5], 경사 냉각판을 이용한 방법[6], 수평형 다이캐스팅 슬리브에 직접 전자 교반 장치를 부착하는 방법[7] 등이 제시되고 있다. 그 이외에 쌍로울식 박판 제조 공정[8], 수직형 슬리브에 전자교반 장치를 부착하여 고상율을 제어한 후 성형하는 용탕단조법[9] 등이 제시되고 있다. 이러한 방법도 장비의 내구성, 결합 및 기계적 성질의 불균일 때문에 널리 보급되지 않고 있다. 따라서 본 연구에서는 지금까지 서술한 문제점을 해결하고, 결정립이 제어된 레올로지 소재를 연속적으로 제조할 수 있는 장비를 제안하였다. 제안된 장비를 이용하여 레올로지 소재를 연속적으로 제조할 수 있는 가능성을 검토하였다.

2. 실험

2.1 실험 장비

연속적으로 레올로지 소재를 제조하기 위해서 회전식 바렐(barrel) 장치를 설계하였으며, Fig.1은 본 연구에서 제안한 실험장치를 나타낸 것이다. 회전하는 원통(9) 내부에 스크류(8)를 제작하여 설치하였다. 이 때 회전하는 원통(9)과 스크류(8)의 온도를 임의로 제어하기 위하여 고주파 가열 시스템(4)이 부착되어 있다. 회전 시 온도를 제어하는 고주파 가열 시스템(4)의 작동 이외에 공기 냉각 시스템(6)을 부착하여 베어링(7)의 온도 제어와 고상율을 제어에 이용하도록 하였다.



(1): Servo motor, (2) and (7): supporting bearing, (3) and (6): air cooling system, (4): induction heating system, (5): barrel joint, (8): screw, (9): rotational barrel, (10): cover

Fig.1 The schematic of the rotational barrel type continuous slurry maker

소재 성형 시 원통형 바렐의 경사각은 재료 내부에 작용하는 전단력의 크기를 결정하는 중요한 변수이다. 따라서, 본 장치에서는 원통형 바렐의 경사각(θ)을 변경할 수 있도록 설계, 제작되어 있다. 일정한 속도로 원통형 바렐이 회전할 때 액상이 외부로 유출되지 않도록 Fig.1에서 보여주는 바와 같이 특수 하게 설계된 커버(10)가 부착되어 있다.

2.2 실험 방법

설계, 제작되어진 장치를 이용하여 레올로지 소재를 연속적으로 제조하기 위하여 용해로에서 용해되어진 액체 상태의 A356 재료를 회전하는 바렐 내부에 주입하였다. 본 연구에서 사용한 소재는 A356.2이며 화학조성을 Table 1에 나타내었다.

Table 1 The chemical compositions of A356.2 alloy

Si	Fe	Cu	Mg	Ca
7.10	0.07	0.01	0.38	0.001
Ga	Sr	Ti	Al	-
0.01	0.026	0.11	Balancing	-

액상 재료를 주입하기 전에 바렐의 온도가 실험온도에 도달하면 액상 재료를 회전하는 바렐에 주입하였다. 이 때, 바렐의 경사각은 30° 이며, 바렐의 온도는 700°C 로 유지하였다. 액체 상태의 소재에 전단력이 가해져 결정립이 미세화되는 과정을 규명하기 위하여, 바렐의 회전 속도를 100~500 rpm, 회전 시간은 300~1800 sec의 범위에서 실험을 수행하였다. 실험 중 액상 재료의 산화를 방지하기 위하여 N_2 가스를 주입하였다. 바렐 내부에 용해된 알루미늄 소재의 연속 주입은 경사 기울기형 보온로를 이용하였다. 실험 도중 바렐 표면 내부의 산화 방지를 위하여 특수코팅을 바렐 내부에 실시하였다.

3. 실험 결과

Fig. 2는 본 장치의 유용성을 검증하기 위하여 As-Cast 상태와 바렐의 회전수 100 rpm, 회전시간 300 sec, 바렐의 경사각 30° 용탕의 주입온도를 720°C 의 조건에서 제조한 빌렛의 미세조직과 초정 α 의 크기를 각각 나타낸 것이다. Fig. 2에서 보

여주고 있는 바와 같이 원소재(as-cast)의 경우 초정 α 의 구상화정도는 전단력이 가해진 바렐에서 제조한 조직과 유사하나, 공정상에 분포하고 있는 Si 상은 원소재보다 바렐로 제조한 조직이 미세함을 알 수 있었다. Si 입자의 크기는 부품의 기계적 성질에 크게 영향을 미치므로 본 연구에서 제시한 바렐식 레올로지 소재의 제조공정이 기존의 방법을 대체할 수 있는 가능성을 검증하였다.

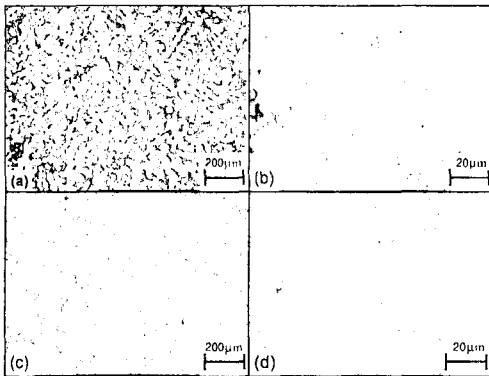


Fig. 2 The comparison of microstructure between as-cast and slurry obtained after rotating barrel; (a) and (b) as-cast; (c) and (d) 100 rpm and 300 sec

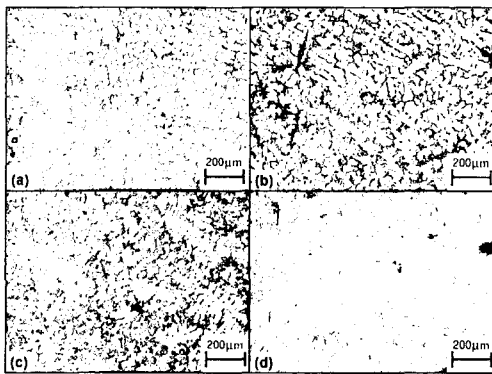


Fig. 3 Microstructural evolution to the rotation time in the 200 rpm rotation speed: (a) 300 sec; (b) 600 sec; (c) 1200 sec; (d) 1800 sec

Fig. 3은 바렐의 경사각 30°, 회전수 200 rpm일 때 회전 속도의 변화에 따른 미세조직을 나타낸 것이다. Fig. 3에서 보여주는 바와 같이 회전시간이 비교적 짧은 300, 600, 1200 sec에서는 텐드라이트

조직이 관찰되었다. 그러나 회전시간이 최대인 1800 sec에서는 텐드라이트 구조가 파쇄되어 비교적 미세한 로제트(rosette) 상의 응고조직을 얻을 수 있었다. 회전시간이 일정하고 회전속도가 증가하면, 700 °C의 바렐 온도가 감소함과 동시에 로제트 상의 조직이 형성되었다. Fig. 1에서 보여주는 회전하는 스크류에 의하여 고상 입자에 전단력이 가해져 텐드라이트 조직이 파쇄됨을 알 수 있다.

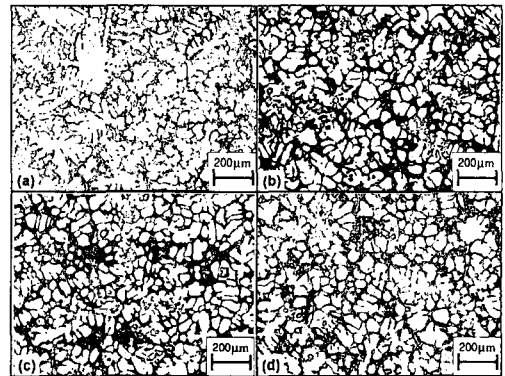


Fig. 4 Microstructural evolution to the rotation time at the 500 rpm rotation speed: (a) 300 sec; (b) 600 sec; (c) 1200 sec; (d) 1800 sec

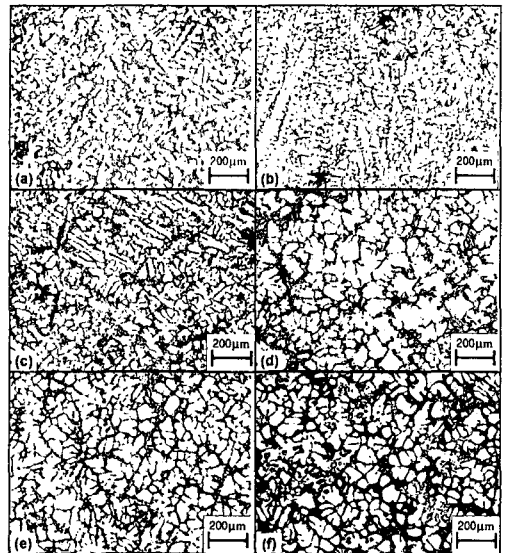


Fig. 5 The comparison of microstructure to the rotation speed at the 600 sec: (a) as-cast; (b) 100 rpm; (c) 200 rpm; (d) 300 rpm; (e) 400 rpm; (f) 500 rpm

Fig. 4는 회전속도가 500 rpm일 때, 회전시간의 변화에 따른 빌렛 중앙 부분의 응고조직 상태를 나타낸 것이다. 회전속도 200 rpm(Fig. 3)의 경우보다 500 rpm(Fig. 4)인 경우 덴드라이트 조직이 보다 많이 파쇄되었음을 알 수 있다. 본 연구에서 600 rpm 이상에서 회전시간의 변화에 따라서 실험을 수행 하였으나, 200 rpm 때와 유사한 상태는 관찰 되지 않았다.

Fig. 5는 바렐의 회전시간 600 sec에서 회전속도의 변화에 따른 응고조직 상태를 나타낸 것이다. Fig. 5에서 보여주는 바와 같이 덴드라이트 조직이 관찰되는 한계 회전수는 (200~300)rpm 정도이며, 400 rpm이상에서는 파쇄된 미세조직을 얻을 수 있었다.

Fig. 6은 회전시간과 회전속도가 미세 응고 조직에 미치는 영향을 나타낸 결과이다. 회전시간 600 sec와 회전속도 500 rpm 이상에서 로제트 상의 조직과 구상화 조직이 혼합된 응고 조직이 나타남을 알 수 있었다.

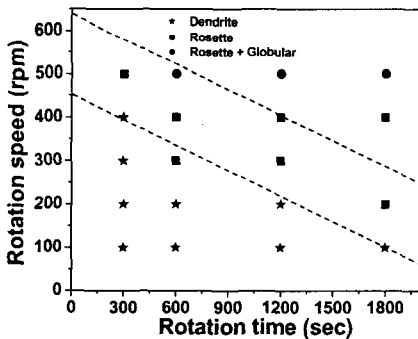


Fig. 6 The characteristics of microstructure to the rotation time and rotation speed

4. 결론

액체상태의 용융금속으로부터 결정립이 제어된 레올로지 소재를 연속적으로 제조할 수 있는 회전식 바렐 장비를 제안하였다. 제조된 장비로부터 레올로지 소재의 미세조직을 조사하여 결정립이 제어된 레올로지 소재의 성형가능성을 검토하였다. 레올로지 소재의 제조조건을 도출하였으며 향후 본 장비에서 제조한 결정립 제어 레올로지 소재를 직접 단조 및 다이 캐스팅 장비와 연계하여 실용화 가능성을 검토할 예정이다. 또한 바렐 내

부의 형상이 미세조직에 미치는 영향을 파악하여 장치 설계 측면에서 응용이 가능하도록 하였다.

후 기

본 연구는 과학기술부 지정 Thixo/Rheo 성형 국가지정연구실(NRL) 사업으로 수행되었으며, 이에 감사드립니다.

참 고 문 헌

- (1) Z. Fan, 2002, "Semisolid metal processing", *Int. Mater. Rev.*, Vol. 47, No. 2, pp. 49~85.
- (2) D. Apelian, 2002, "Semi-solid processing routes and microstructure evolution", *Proc. 7th Int. Conf. on Advanced Processing of Semi-Solid Alloys and Composites*, pp. 65~74.
- (3) M. Adachi and S. Sato, 2000, "Advanced rheocasting process improves quality and competitiveness", *SAE International*, pp. 296~300.
- (4) R. D. Carnahan, 1994, "Thixomolded magnesium: it's status and model relating structure and solid state properties", *Proc. 3rd Int. Conf. on Processing of Semi-Solid Alloys and Composites*, pp. 65~74.
- (5) N. Wang and K.K. Wang, 1998, "A study of rheomolded parts of no. 2 die casting alloys at semi-solid states", *Proc. 5th Int. Conf. on Processing of Semi-Solid Alloys and Composites*, pp. li~lvi.
- (6) T. Haga and P. Kapranos, 2002, "Billetless simple thixoforming process", *J. Mater. Proc. Tech.*, Vol. 130-131, pp. 581~586.
- (7) K. Kitamura, Y. Ando, K. Hironaka, S. Yahata and C. Yoshida, 1994, "Die casting of aluminum alloy in semi-solid state", *Proc. 3rd Int. Conf. on Processing of Semi-Solid Alloys and Composites*, pp. 181~190.
- (8) T. Haga, 2002, "Semisolid strip casting using a twin roll caster equipped with a cooling slope", *J. Mater. Proc. Tech.*, Vol. 130-131, pp. 558~561.
- (9) R. Shibata, T. Kaneuchi, T. Soda and Y. Iizuka, 1996, "New semi-liquid metal casting process", *Proc. 4th Int. Conf. on Processing of Semi-Solid Alloys and Composites*, pp. 296~300.