

회전식 바렐에 의한 단조용 레올로지 소재 제조

김태원* (부산대원), 서판기(부산대원), 오세웅(부산대원), 강충길 (부산대 기계공학부)

Fabricating Apparatus of Rheological Material for forging by Rotational Barrel

T. W. Kim, P. K. Seo, S. W. Oh, C. G. Kang

ABSTRACT

The rotational barrel type equipment has been designed for the new rheology fabrication process. During the continuous rotation of barrel with a constant temperature, the shear rate is controlled with the rotation speed and rotation time of barrel. The barrel surface can be controlled the temperature by the induction heating and cooling system. Many experiments were widely examined by using this system with controlling the rotation speed and the rotation time. The possibility for the rheofforming process was investigated with microstructural characteristics.

Key Words : Wrought Alloy, Barrel Type Equipment, Microstructure, Solid Fraction, Rheology Metal

1. 서론

고강도이면서 환경 친화적인 구조재료에 대한 수요증대에 따라 동일한 특성을 갖는 철계 소재에 비해 40% 정도 경량화가 가능하고 또한 리사이클링을 통한 재활용 비율이 매우 높은 고강도 AI 합금의 이용이 점차 증가하고 있다. 그러나 고강도 AI 합금은 성형성이 낮기 때문에 복잡한 형상 구조물을 위한 제품 제조시 대부분 다공정을 통해 제조되게 되는데 이때 심한 flash의 형성으로 인한 원소재의 낭비, 중간가공 및 가열공정을 통한 생산성감소 등과 같은 경제적인 측면에서의 경쟁력이 떨어지고 또한 품질의 제어가 용이하지 않은 문제점이 있다 [1]. 특히 틱소 (thixo) 성형공정과 레올로지 (rheology) 성형공정에 관한 연구가 최근 많이 수행되고 있으나 공정의 불안정, 고가의 장비 가격 때문에 실용화가 지연되고 있다. 특히 틱소 성형공정의 단점을 획기적으로 보완할 수 있는 레올로지 성형 공정이 최근 연구의 대상이 되고 있으며, 실용화를 위한 금형 설계 기술과 부품 설계가 시작되면서부터 결정립이 제어된 소재의 제조 기술에 관심이 세계적으로 집중되고 있다 [2],[3]. 레올로지 소

재를 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. 이외에도 쌍로울식 박판 제조 공정 [8], 수직형 슬리브에 전자교반 장치를 부착하여 고상물을 제어한 후 성형하는 용탕단조법 [9] 등이 제시되고 있다. 이러한 방법들에도 불구하고 장비의 내구성, 결함 및 기계적 성질의 불균일 때문에 널리 보급되지 않고 있다. 따라서 본 연구에서는 구조용합금을 사용하여 결정립이 제어된 레올로지 소재를 연속적으로 제조할 수 있는 회전식 바렐 (Barrel) 장치 [10] 를 이용하여 구조용 합금의 레올로지 (Rheology) 소재를 연속적으로 제조할 수 있는 가능성을 검토 하였다.

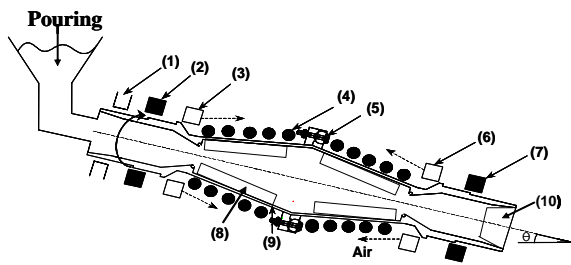
2. 실험

2.1 실험장비

레올로지 소재의 연속적 제조를 위해서 회전식 바렐 (Barrel) 장치를 이용하였으며, Fig. 1 은 본 연구에서 사용된 실험장치를 나타낸 것이다.

회전하는 원통(9)에 내부 스크류(8)가 설치되어

있다. 이 때 회전하는 원통(9)과 스크류(8)의 온도를 임의로 제어하기 위하여 고주파 가열 시스템(4)이 부착되어 있다. 회전 시 베어링(7)의 온도 제어와 고상률 제어에 이용하기 위하여 고주파 가열 시스템(4)의 작동 이외에 공기 냉각 시스템(6)을 부착하였다. 소재 성형 시 원통형 바렐 (Barrel)의 경사각 (θ)은 재료 내부에 작용하는 전단력의 크기를 결정하는 중요한 변수로 작용 된다. 그러므로, 본 장치에서는 원통형 바렐의 경사각을 변경할 수 있도록 제작 되어 있다. 일정한 속도로 원통형 바렐이 회전 할 때 액상이 외부로 유출되지 않도록 Fig. 1 에서 보여 주는 바와 같이 커버(10)가 부착되도록 설계되어 있다.



(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 illustration of the rotational-barrel-type equipment

2.2 실험 방법

바렐 (Barrel) 장치를 이용하여 레올로지 소재를 연속적으로 제조하기 위하여 용해되어진 액체 상태의 Al6061, Al7075 재료를 회전하는 바렐 내부에 주입하였다. 본 연구에서 사용된 소재는 Al6061, Al7075 이며 화학조성을 Table 1 에 나타내었다. 재료의 온도를 일정온도로 유지 시키고 바렐의 온도가 실험온도에 도달하면 액상 재료를 바렐 내부에 주입시킨 후 회전을 가하였다. 이 때, 바렐의 경사각은 30° 로 고정하였다. Al6061 과 Al7075 의 액상선온도는 각각 652°C 과 635°C 이다. 이에 바렐 내부온도는 액상선온도를 고려하여 Al6061 의 경우 $680^\circ\text{C} \sim 760^\circ\text{C}$, Al7075 의 경우 $660^\circ\text{C} \sim$

740°C 의 범위에서 과열도 (ΔT) 를 20°C 씩 단계를 주며 실험을 하였다. 그리고 각 실험 시 로의 온도는 로에서 바렐 내부까지의 액체 상태의 소재가 이동 중 변화 될 소재의 온도를 고려하여 Al6061 의 경우 700°C , Al7075 의 경우 680°C 로 용해로의 온도를 유지 하였다. Al7075 의 경우 액체 상태의 소재에 전단력이 가해져 결정립이 미세화되는 과정을 규명하기 위하여, 바렐의 회전 속도를 $50 \sim 300 \text{ rpm}$, 회전 시간을 $30 \text{ sec} \sim 300 \text{ sec}$ 의 범위에서 실험을 수행하였다. 실험 수행 전 재료의 산화방지를 위해 액상 상태의 재료에 질소가스를 주입하였다. 실험 중 바렐 표면 내부의 산화 방지를 위하여 특수코팅이 되어 있다. 소재의 미세조직을 분석하기 위하여 특정부분에서 채취한 시편의 위치별, 방향별 지점을 Fig. 2 에 나타내었다. 그리고 중심 부위와 가장자리 부위의 시편을 채취하여 소재의 반경방향으로 미세조직을 조사하였다.

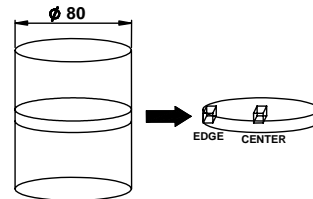


Fig. 2 The position for observing of the microstructure

3. 실험 결과

3.1 원소재 분석

Fig. 3 는 원소재의 미세조직을 나타낸 것이다.

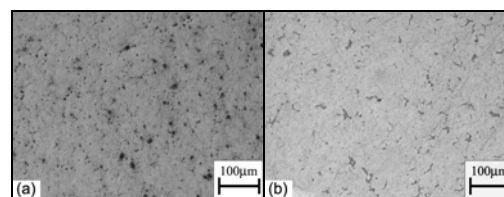


Fig. 3 Microstructures of as-received Al6061 and Al7075 ;(a) Al6061 and (b) Al7075 aluminum alloy

Table 1. the chemical compositions and thermal characters of Al6061 and Al7075 aluminum alloy.

	Mg	Zn	Cu	Fe	Si	Mn	Ti	Al	T _L	T _s	ΔT
Al6061	0.8	-	0.15	0.7	0.4	0.15	0.15	Bal.	652°C	582°C	70°C
Al7075	2.45	5.4	1.62	0.11	0.26	0.08	0.02	Bal.	635°C	477°C	158°C

3.2 Al6061 실험

Fig. 4는 바렐의 경사각 30°, 회전수 100 rpm, 회전시간 60 sec 일 때 바렐 내부의 온도 변화에 따른 Al6061의 미세조직을 나타낸 것이다. Fig. 4에서 보여주는 바와 같이 바렐 내부의 온도가 700 °C일 때 초정 α들의 구상화 정도가 향상 되었음을 알 수 있었다. 그러나 700 °C이상의 온도에서는 조직이 조대화 됨을 관찰할 수 있었다

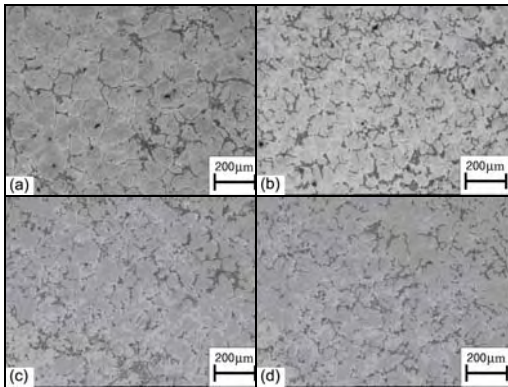


Fig. 4 The pictures of microstructure according to barrel temperature in Al 6061 (t : 60 sec, v : 100 rpm); (a) 680 °C, (b) 700 °C, (c) 720 °C, (d) 740 °C

Fig. 5은 바렐 내부온도 (T_b) 700 °C 회전시간 (t) 60 sec 일 때 회전속도의 변화에 따른 빌렛 중앙부분의 응고조직 상태를 나타낸 것이다. 150 rpm의 조건에서 비교적 미세한 로제트 (rosette) 상의 응고조직을 얻을 수 있었다.

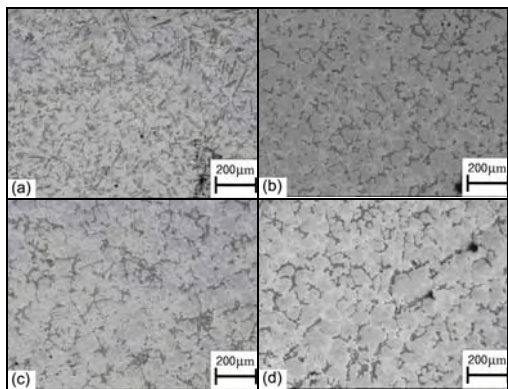


Fig. 5 The pictures of microstructures according to rotation speed in Al 6061 (T_b: 700 °C, t : 60 sec); (a) 50 rpm, (b) 150 rpm, (c) 200 rpm, (d) 300 rpm

이 외에도 회전시간에 변수를 두고 실험을 하였으나, 회전시간에 따른 조직상의 변화에서는 회전속도에 따른 실험과 유사한 상태의 조직 변화는 관찰되지 않았다.

3.3 Al7075 실험

Fig. 6은 Al7075 소재를 이용하여 회전속도 100 rpm, 회전시간 60 sec 로 고정시킨 후 바렐 내부의 온도, Fig. 7은 바렐 내부온도 680 °C, 회전속도가 rpm 일 때 회전시간 변화에 따른 조직의 변화에 따른 조직의 변화를 각각 관찰 한 것이다. 내부온도 변화 (Fig. 6)의 경우보다 회전시간에 따른 조직상의 변화가 뚜렷함을 알 수 있었다. 이 외에도 회전속도에 변수를 두고 실험을 하였으나, 회전속도에 따른 조직상의 변화에서는 차이점을 볼 수 없었다. 회전시간 90 sec, 회전속도 100 rpm, 바렐 내부온도 680 °C에서 로제트상의 조직과 구상화 조직이 혼합된 응고 조직이 나타남을 알 수 있었다.

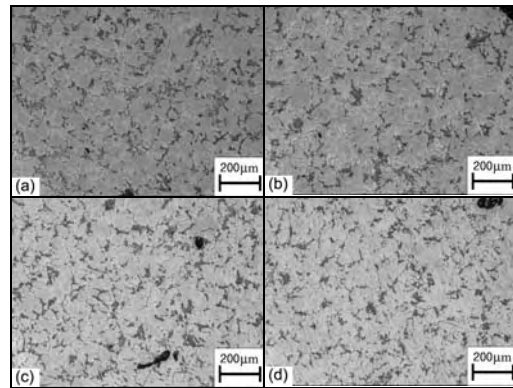


Fig. 6 The pictures of microstructures according to barrel temperature in Al 7075 (t : 60 sec, v : 100 rpm); (a) 660 °C, (b) 680 °C, (c) 700 °C, (d) 720 °C

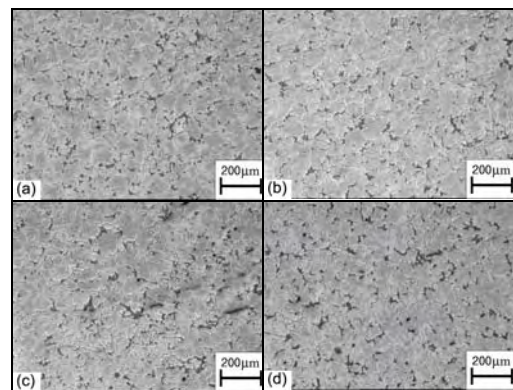


Fig. 7 The pictures of microstructures according to stirring time in Al 7075 (T_b: 680 °C, v: 100 rpm); (a) 30 sec, (b) 90 sec, (c) 150 sec, (d) 300 sec

3.4 열처리

회전식 바렐 장치에 의해 제조된 빌렛으로 열처리 후 비커스 경도기를 이용하여 각 소재의 조건별 경도를 측정하였다. 바렐 장치로 제조된 빌렛의 조건은 Al6061의 경우 회전시간 60 sec, 회전속도 150 rpm, 바렐 내부온도 700 °C이며, Al7075는 회전

시간 90 sec, 회전속도 100 rpm, 바렐 내부온도 680 °C로 제작되었다. Fig. 9 는 Al6061 소재에 관해서 530 °C에서 2 시간 용체화 처리 후 175 °C에서 소정의 시간 동안 시효처리한 시편들의 경도값을 비교한 것이다. 경도값은 시효 8 시간에서 초정과 공정에서 최고의 값이 나타났다. Fig. 10 은 Al7075 소재에 관해서 470 °C에서 17 시간 동안 용체화 처리 후 소정의 시간동안 시효처리[3]한 시편들의 경도 값을 나타낸 것이다.

Fig. 9 에서 Al6061 의 경도값은 공정과 초정 모두 시효 8 시간에서 최고의 경도값이 나타났다. Fig. 10 에서 Al7075 의 경도값은 시효 4 시간에서 최고의 경도값이 나타났다

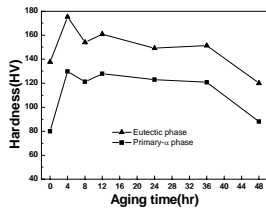


Fig. 9 Hardness in Al6061 according to aging time after solution treatment for 2hr at 530 °C (aging temperature : 175 °C)

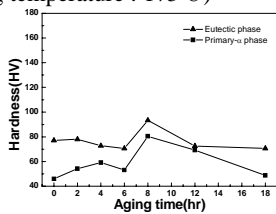


Fig. 10 Hardness in Al7075 according to aging time after solution treatment for 17hr at 480 °C (aging temperature : 120 °C)

4. 결론

액상상태의 용융금속으로부터 결정립이 제어된 레올로지 소재를 연속적으로 제조할 수 있는 회전식 바렐 장비를 이용하여 구조용 합금 Al6061 과 Al7075 실험 후 소재의 미세조직을 관찰하고 결정립이 제어된 레올로지 소재의 성형가능성을 조사하였다. 향후 본 장비에서 제조된 결정립 제어 레올로지 소재를 직접 단조 및 다이 캐스팅 장비와 연계하여 실용화 가능성을 검토 할 예정이다.

후 기

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

참고문헌

- [1] 이상용, 전재일, 이정환, 이영선, 신평우, 1998, Al7075 합금의 열간단조와 반응고 단조에 있어서 조직, 성형 및 경도와 특성 비교, 한국소성가공학회지, 제 7 권, 제 6 호, pp. 620~630
- [2] Z. Fan, 2002, "Semisolid metal processing", Int. Mater. Rev., Vol.47, No.2, pp.49~85.
- [3] 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.
- [4] R. D. Carnahan, 1994, "Thixomolded magnesium: its status and model relating structure and solid states 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 rheo molded parts of no.2 die casting alloys at semi-solid states", Proc. 5th Int. Conf. on Processing of Semi
- [6] T. Haga and P. Kapranos, 2002, "Billetless simple thixoforming process", J. Master. 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. Master. 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.
- [10] 서관기, 정용식, 강충길, 2004, 회전식 바렐 장치에 의한 레올로지 소재의 연속 제조 공정, 한국소성가공학회 추계학술대회 논문집, pp. 103~106
- [11] D. Liu, H. V. Atkinson, P. Kapranos, H. Jones W. Jiratticharoean, 2003, "Microstructural evolution and tensile mechanical properties of thixoformed high performance aluminium alloys", Material Science and Engineering., Vol.361, pp. 213~224.