

결정립 제어 레오로지 소재의 성형공정과 기계적 성질

서판기¹, 강충길[#]

Forming Process and Mechanical Properties of Grain Controlled Rheology Material

P. K. Seo, C. G. Kang

Abstract

The microstructure and mechanical properties of rheocast A356 aluminum alloy by electromagnetic stirring are studied. In the electromagnetic stirring, main parameters are stirring current and stirring time. Stirring current is ranged from 0 A to 60 A, and stirring time is 20, 40, and 60 sec. In the rheocasting, injection velocity and applied pressure are changed. In this paper, the effect of stirring current and stirring time on the morphology and mechanical properties are investigated and analyzed.

Key Words : Rheology Material, Forming Process, Microstructure, Mechanical Properties

1. 서론

반용융 성형은 금속의 액상선과 고상선 사이의 반용융 상태에서 성형하는 방법으로 틱소(thixo)성형방법과 레오(rheo)성형방법으로 분류할 수 있다 [1,2]. 틱소성형방법은 전자기 교반 등의 방식으로 제조된 등축정 조직의 고상 빌렛(billet)을 반용융 상태로 재가열하여 성형하는 방법이다. 반면에 레오성형방법은 용고 중에 교반을 가하여 구상화 조직을 제조하고 반용융 상태에서 직접 성형하는 방법이다. 반용융 성형은 에너지 절감, 금형 수명 연장, 미세하고 구상화된 조직으로 인한 우수한 기계적 성질의 장점이 있다[3]. 하지만, 액상편석, 온도 제어의 어려움, 비싼 원소재 가격, 금형개발비 증가 등의 단점이 있다. 그러나, 최근에는 자동차, 항공, 가전 산업에 있어서 경량화되고 우수한 기계적 성질을 가진 부품을 요구하는 추세이므로 반용융 성형방법에 대한 관심이 계속 증가

하고 있다.

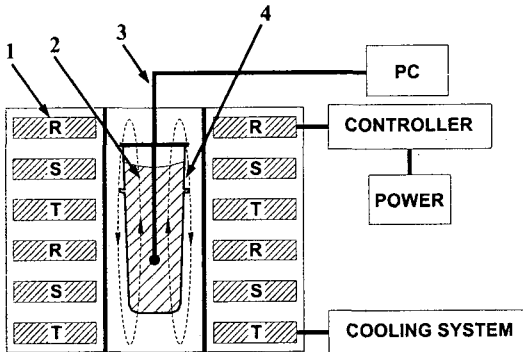
틱소성형방법은 레오성형에 비해서 공정 수가 많고 사용할 수 있는 소재에 제한이 있으며, 스크랩(scrap)의 재활용이 되지 않는 단점이 있다. 레오성형방법은 소재의 제한이 적으며, 스크랩의 재활용이 가능하므로 제조원가가 낮은 장점이 있다 [4]. 레오성형방법에 있어서 구상화 조직을 제조하는 방법은 기계적 교반[5], 전자교반, 경사냉각방식 등이 있다. 전자기 교반방식은 기계식 교반법에 비해서 비접촉식이며, 제어가 용이하며, 친환경적인 기술이라 할 수 있다.

본 연구에서는 전자교반을 이용하여 레오로지(rheology) 소재를 제조하고 두께와 형상이 변하는 금형을 제작하여 직접 레오성형에 적용하였다. 전자교반에서 교반전류와 교반시간을 주요변수로 하여 레오성형 후 미세조직과 기계적 성질에 미치는 영향을 파악하고자 하였다.

¹ 부산대학교 대학원 정밀기계공학과
[#] 강충길: 부산대학교 기계공학과,
E-mail:cgkang@pusan.ac.kr

2. 실험 방법

실험에 사용된 소재는 주조용 합금으로 주로 사용되는 A356 합금을 사용하였다. 전자교반장치의 구성은 Fig. 1에 나타낸 바와 같다. 전자교반장치 내부에 비자성체 용기를 제작하여 전자교반을 하였다. 전자교반을 하는 동안 전자교반장치 내에 설치된 코일은 많은 열을 발생하게 된다. 따라서 급속히 온도가 상승하여 전자기 코일이 과열되는 현상을 방지하기 위하여 냉각수를 이용해서 전자교반장치의 온도상승을 방지하였다. 또한, 전자교반장치 내에서 용탕의 온도 및 냉각 속도를 제어하기 위하여 K-type의 열전대를 설치하였다. 실험은 교반전류, 교반시간, 사출조건, 가압력을 변수로 하였으며, 실험 조건은 Table 1과 같다.



1. coil 2. molten metal 3. Thermocouple 4. crucible

Fig. 1 Schematic diagram of EMS apparatus

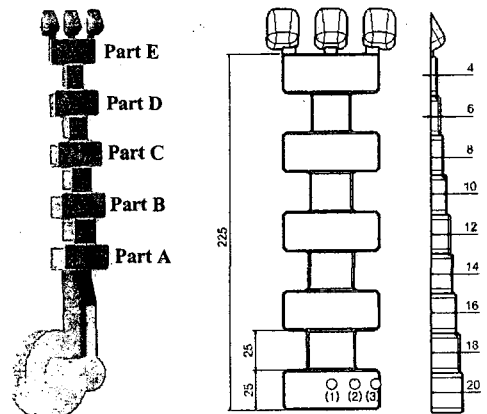
Table 1 Experimental conditions for rheo casting by electromagnetic stirring

Exp. No.	Stirring current (A)	Stirring time (sec)	Injection velocity (m/s)	Pressure (bar)
1	0	40	0.3	1000
2	20	40	0.3	1000
3	40	40	0.3	1000
4	60	40	0.3	1000
5	40	20	0.3	1000
6	40	60	0.3	1000
7	40	40	0.1	1000
8	40	40	0.7	1000
9	40	40	1.2	1000
10	40	40	0.3	600
11	40	40	0.3	800
12	40	40	0.3	1200

실험은 전기로에 용해되어 690℃로 유지되어

있는 용탕을 전자교반장치 내부에 담겨 있는 용기에 주입한다. 그리고 교반을 시작하면 용기 속에 담겨있는 열전대를 통하여 온도를 측정한다. 전자교반장치 내부에서 용탕은 교반되면서 서서히 온도가 감소되어 레오로지 상태가 된다. 교반전류는 0, 20, 40, 60 A, 교반시간은 20, 40, 60 sec로 변화시키면서 실험하였다. 교반이 끝난 후 레오로지 소재의 급격한 온도감소를 방지하기 위하여 빠른 시간 내에 성형장비에 주입되었다.

레오성형에 사용한 장비는 Buhler 42N이며, 금형 온도조절장치를 이용하여 금형온도를 250℃로 제어하였다. 성형에 사용된 금형의 형상을 Fig. 2에 나타내었다. 시험편은 두께의 영향을 파악하기 위하여 최소 4 mm, 최대 20 mm로 변화를 주었으며, 충전거리는 225 mm하여 제작하였다. 레오성형실험 이후 시험편의 각 부위별 미세조직을 관찰하였으며, 초정상과 공정상으로 구분한 경도를 측정하여 교반전류와 교반시간이 기계적 성질에 미치는 영향을 파악하고자 하였다.



(a) Test piece shape (b) Test piece dimension
Fig. 2 The shape and dimension of test piece part

3. 결과 및 고찰

3.1 미세조직

Fig. 3은 교반전류를 변화시키면서 40 sec 동안 전자교반한 소재를 이용하여 레오로지 성형 후 Fig. 2의 Part C 부위에서 중심부와 끝단부의 미세조직을 관찰한 결과이다. 0 A의 경우, 전자교반에 의한 영향은 없다. 하지만, 성형 후 급냉으로 인한 수지상 성장의 억제로 인하여 수지상 조직보다는 로제트(rossette) 형상의 조직과 부분적인 구상

화 조직이 관찰되었다. 20 A와 같이 교반전류가 비교적 약한 경우에는 부분적인 전자교반이 이루어지고 있으나, 완전한 구상화 조직을 나타내지 않았다. 40 A의 경우, Part C의 중심부와 끝단부에서 구상화 조직과 로제트 형상의 조직이 분포하였으며, 중심부와 끝단부에 관계없이 균일한 미세조직이 관찰되었다. 하지만 60 A와 같이 교반전류가 비교적 높은 경우에는 로제트 형상의 결정립이 많이 관찰되었으며, 중심부와 끝단부의 미세조직이 균일하지 않았다. 이는 교반전류의 증가로 교반기 내부에서 원심력의 차이가 발생하여 미세조직이 불균일해지고, 그 결과가 성형 후에 영향을 미치는 것으로 사료된다. 결정립의 크기는 0A에서 40A까지 교반전류가 증가하면서 감소하였으나, 60A로 증가하면서 결정립의 크기가 다시 증가하는 경향을 나타내었다.

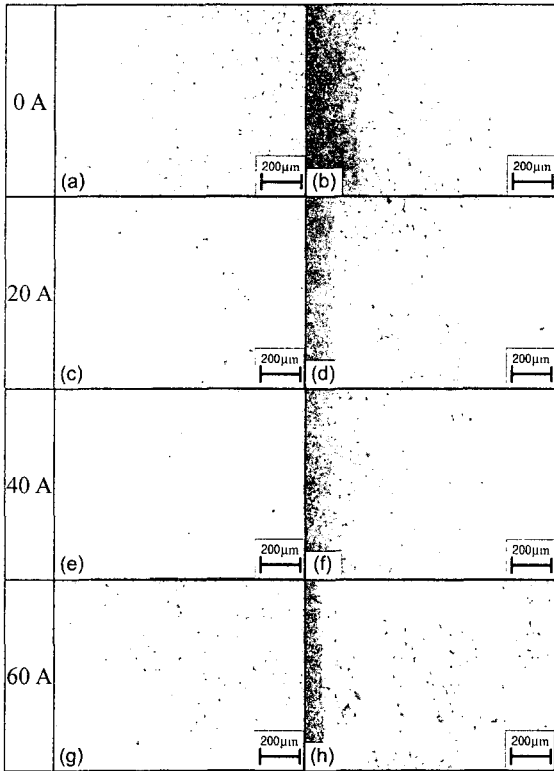


Fig. 3 The microstructure to the stirring current at part C (stirring time = 40 sec, injection velocity = 0.3 m/s, pressure = 1000 bar): (a), (c), (e), and (f) are center position; (b), (d), (f), and (h) are edge position

Fig. 4는 교반전류가 40 A일 때 교반시간에 따른 미세조직의 변화를 나타낸 것이다. 교반시간이 20 sec일 경우, 충분한 교반이 이루어지지 않았기 때문에 수지상 조직과 로제트 형상의 결정립이 공존하였다. 40 sec의 교반시간에서는 구상화 조직이 전체 위치에서 관찰되었다. 하지만, 교반시간이 60 sec인 경우, 중심부에서는 소량의 미세한 결정립과 다수의 공정조직이 분포하였고, 끝단부에서는 구상화된 결정립과 로제트 형상의 결정립이 많이 분포하였다. 이것은 교반시간의 증가로 온도 편차가 발생하여 미세조직이 불균일해지기 때문에 성형 후에도 미세조직이 불균일한 것이다. 또한, 교반시간이 증가하면서 결정립 사이에 응집이 발생하기 때문에 40 sec일 경우보다 결정립의 크기가 보다 증가하였다.

교반전류가 약하거나 교반시간이 짧을 경우, 충분한 교반이 이루어지지 않기 때문에 수지상 조직과 로제트 형상의 결정립이 생성된다. 반면에 교반전류가 강하거나 교반시간이 길어질 경우, 위치에 따라서 미세조직이 불균일하게 되며, 결정립 사이의 응집으로 인하여 결정립의 형상은 구상화되지 않았으며 크기도 증가하는 양상을 보였다.

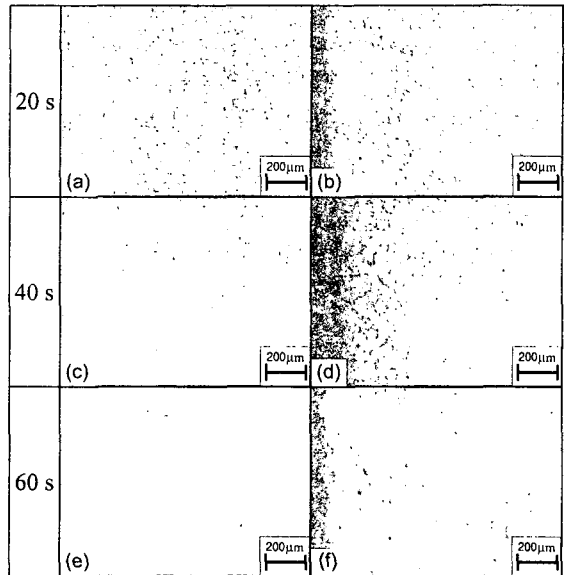
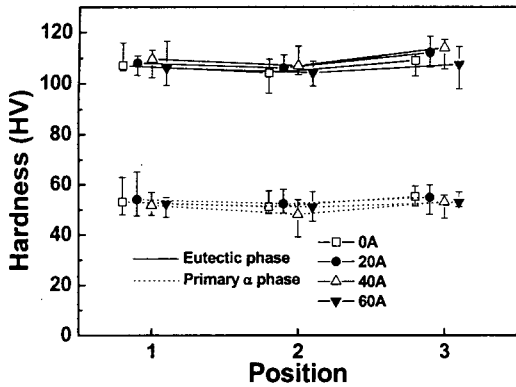
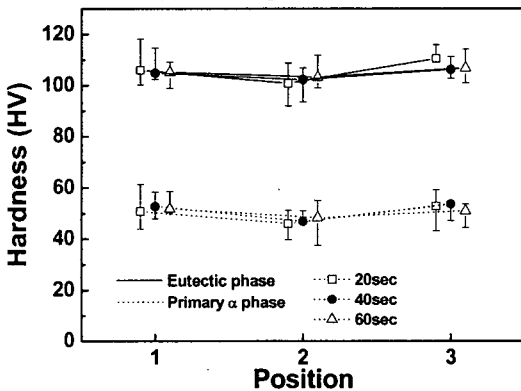


Fig. 4 The microstructure to the stirring time at part C (stirring current = 40 A, injection velocity = 0.3 m/s, pressure = 1000 bar): (a), (c), and (e) are center position; (b), (d), and (f) are edge position



(a) Stirring current



(b) Stirring time

Fig. 5 Hardness distribution at Part C; (a) stirring current; (b) stirring time

3.2 기계적 성질

Fig. 5 (a)는 Fig. 2의 Part C 부위에서 교반전류에 따른 초정상과 공정상의 경도를 나타낸 것이다. 교반전류의 변화에 따른 경도는 큰 차이를 나타내지 않았다. 하지만, 가압력이 전달되는 거리가 가장 짧은 ① 부위와 냉각속도가 가장 빠른 ③ 부위의 경도가 ② 부위보다 조금 높았다. 초정상에서 경도의 평균값은 (48~55)HV였으며, 공정상에서 경도의 평균값은 (104~114)HV로 큰 차이를 보였다. Fig. 5 (b)는 교반시간에 따른 경도의 변화를 나타낸 것이다. 교반시간을 변화시키더라도 경도는 크게 변하지 않았다. 교반전류에 따른 경도의 결과와 유사하게 가압력을 많이 받을 수 있는 ① 부위와 냉각속도가 빠른 ③ 부위가 ② 부위보다 약간 높았으며, 초정상과 공정상의 경도 또한 유사한 값을 나타내었다.

4. 결론

전자교반장치를 이용하여 A356 합금의 결정립 제어 레오로지 소재의 제조실험과 기계적 성질을 평가한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

(1) 교반전류가 40 A 까지 증가함에 따라 구상화 정도가 향상되었으며, 결정립의 크기도 감소하였다. 하지만, 60A 에서는 미세조직이 불균일하였으며, 결정립의 크기도 증가하였다.

(2) 교반시간이 40sec 일 때 구상화된 결정립이 가장 균일하게 분포하였으며, 결정립의 크기가 가장 작았다. 20, 60sec 의 교반시간에서는 로제트 형상의 결정립이 많았으며 액상편석이 발생하였다.

(3) 교반전류와 교반시간에 따라 정도의 차이는 크지 않았으며, 초정상에서는 (48~55)HV, 공정상에서는 (104~114)HV 의 정도값을 나타내었다.

후기

본 연구는 과학기술부 지원 국가지정연구실 - Thixo-Rheo 성형연구실(NRL) - 사업 과제로 수행되었으며, 이에 감사드립니다.

참고문헌

- [1] M.C. Flemings, 1991, Behavior of metal alloys in the semisolid state, Metallurgical Transactions A, Vol. 22A, pp. 957~980.
- [2] D.H. Kirkwood, 1994, Semisolid metal process, Inter. Mater. Rev., Vol. 39, pp. 173~189.
- [3] E.J. Vinarcik, J.D. Taylor, K. Farris, 1998, Automotive fuel system component design for manufacturing using the semi-solid process, Proc. of the 5th Int. Conf. on Semisolid Processing of Alloys and Composites, pp. 105~113.
- [4] D. Apelian, 2002, Semi-solid processing routes and microstructure evolution, Proc. of the 7th Int. Conf. on Semi-Solid Processing of Alloys and Composites, pp. 25~30.
- [5] J.A. Yurko, R.A. Martinez, M.C. Flemings 2002, Development of the semi-solid rheocasting (SSR) process, Proc. of the 7th Int. Conf. on Semi-Solid Processing of Alloys and Composites, pp. 659~664.