

전자기장을 이용한 결정립 제어 소재 공정 기술

정용식* · 서판기* · 고재홍* · 강충길**

The Technology of Material Processing for Grain Size Control by Electromagnetic Stirring

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

Abstract

Actual trends in automotive industry lead to an increase use of lightweight structures imposing the need for high strength aluminum alloys with complex shape. In the electromagnetic stirring process, it has many merits which are the exact control ability about material processing and a good point of the protection of environment comparison with the mechanical stirring. The interface of cells consisting of primary particle formed by the electromagnetic stirring due to particle regrowth during cooling the alloy. By electromagnetic stirring process, the microstructure of material has a good point, also it can control the material processing exactly.

Key Words : Electromagnetic stirring(EMS), Microstructure, Mean equivalent diameter, Image Analysis.

1. 서 론

최근 환경오염과 에너지 절감의 문제로 인해 자동차 산업에 있어서 가장 중요하게 부각되고 있는 점은 자동차 부품의 경량화 문제이다.⁽¹⁾ 부품의 경량화 문제를 해결하기 위하여 현재 많은 연구들이 진행 중이다. 이런 많은 연구 중 자동차 부품에 주로 사용되어 지고 있는 주철 부품을 알루미늄 합금으로 대체하고자 하는 연구가 많이 행해지고 있다.⁽²⁾ 그러나 주철 부품을 알루미늄으로 대체하기 위해선 알루미늄 합금이 지니고 있는 낮은 기계적 물성치의 문제점을 해결해야 한다. 알루미늄이 지닌 기계적 물성치를 향상하기 위하여 많은 연구가 진행되어 왔다.^{(3),(4)}

반응고 소재를 이용한 주조 및 단조 공법은 이

런 문제를 해결하기 위해 제시되어 활발하게 연구 진행되고 있다. 이렇게 활발하게 연구되고 있는 반응고 소재를 만들기 위해 전자기장을 이용한 교반을 실시하여 소재내의 고상과 액상을 제어한다.⁽⁵⁾ 전자기장을 이용한 교반은 액상의 소재를 응고 시간동안 전자기장을 이용하여 완전한 액상에서는 제어할 수 없는 공정을 제어 할 수 있는 기술이다. 전자기 교반법으로 제조된 반응고 소재는 미세조직이 향상되어 알루미늄 합금을 이용한 제품의 기계적 물성치를 향상하는 데 도움이 되는 미세조직을 제어하는 것이 가능하다.⁽⁶⁾

전자기 교반을 이용한 연구는 지금까지 진행되어 온 알루미늄의 기계적 교반법에 비하여 많은 장점을 지니고 있다. 소재를 직접적으로 접촉하지 않아도 되는 장점을 지내고 있고 기계식 교반법

* 부산대학교 정밀기계공학과 대학원

** 부산대학교 기계공학부

에 비해 정확한 재료 공정 제어가 가능하다. 또한 기존의 기계식 교반법에 비해 친환경적인 기술이라 할 수 있다.

본 연구에서는 낮은 알루미늄의 기계적 물성치를 향상하기 위하여 전자기 교반을 이용하여 A356소재의 공정을 제어하기 위한 연구를 하였다.

2. 실험 및 결과

2.1 전자기 교반 실험

전자기를 이용한 A356 소재의 교반 실험은 다음과 같이 이루어졌다. 전자기 교반 실험을 위한 장치 구성은 Fig. 1과 같다. 전자기 교반장치로 회전자계를 발생시키는 교반기 안에 알루미늄 용탕을 받아 얻을 수 있는 비자성체 용기를 제작하여 교반기 안에 넣어 교반을 실시하였다. 용탕을 넣기 위한 용기는 전자기 교반 장치의 영향을 받지 않게 하기 위하여 비자성체 물질로 이루어진 소재로 직경이 80 mm가 되도록 제작하였다. 전자기 교반 실험이 일어나는 동안 교반기 내에 설치된 전자기 코일은 많은 열을 발생하게 된다. 따라서 급속히 온도가 상승하여 전자기 코일이 타버리는 현상을 방지하게 위하여 냉각수를 흘려 전자 교반기의 과열을 방지한다. 또한, 전자기 교반 장치 내에서 용탕의 온도 및 냉각 속도를 측정하기 위하여 K-type의 열전대를 설치하였다.

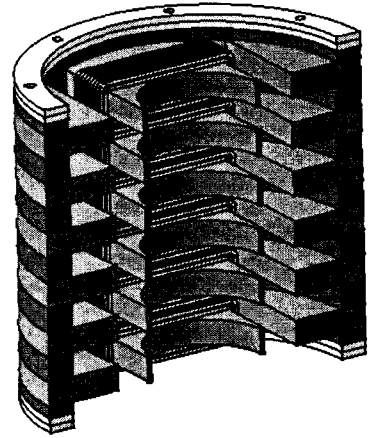
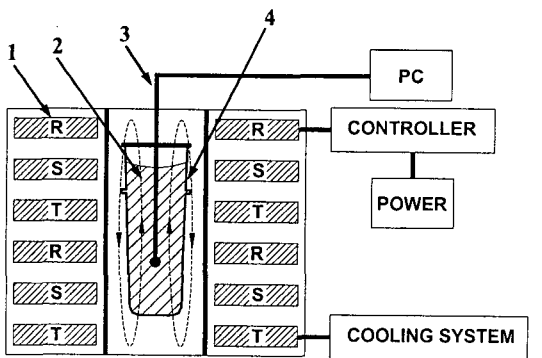


Fig. 2 The 3-dimensional shape of coil in EMS apparatus.

Table 1 Specification of EMS apparatus.

Type	2-ploe
Electric sources	3-phase
Input Voltage	220 V
Frequency of magnetic field	60 Hz
Inner diameter in core	140 mm
Height of core	330 mm



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

Fig. 1. Schematic diagram of EMS apparatus.

전자기 교반기 안에 감겨있는 코일의 형태는 Fig. 2와 같이 제작하였다. 이는 Fig. 1에 나타난 것과 같은 방향으로 전자기력을 유도하여 소재에

교반력을 가하게 된다. 이로 인해 소재가 교반기 밖으로 유출되는 것을 방지하기 위하여 교반기의 위쪽을 밀봉하였다. 설계·제작되어진 교반기의 개요는 Table 1에 나타내었다.

실험은 Table 2에 나타난 조건을 사용하여 실험을 하였다. 실험은 전기로에 용해되어 690℃로 유지되어 있는 용탕을 전자기 교반기 안에 담겨 있는 용기에 주입한다. 그리고 전자기 교반기가 교반을 시작을 하면 용기 속에 담겨있는 열전대를 통하여 온도를 측정하게 된다. 교반기 속에서 용탕은 서서히 온도가 감소되고, 각각의 실험조건에 따른 용탕의 냉각 온도는 Fig. 3에 나타나 있다. 전자기 교반기 내로 공급되는 전류의 양에 따라 용탕의 냉각의 영향을 받는다고 볼 수 는 없었다. A356 합금의 고상율이 55% 내외 인 584℃에서 교반을 멈추고 수조에서 급냉을 실시한 후 응고된 소재를 가운데 및 가장자리 부분으로 나누어 소재의 미세조직을 관찰하였다.

Table 2 Experimental conditions of electromagnetic stirring of A 356 alloy.

No.	Pouring temp T_p (°C)	Pouring weight (kg)	Current (A)
1	690	2.4	0
2	690	2.4	20
3	690	2.4	40
4	690	2.4	60
5	690	2.4	80
6	690	2.4	100

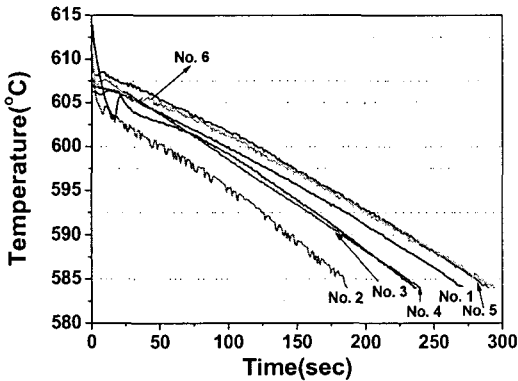


Fig. 3 The temperature profiles at each experimental condition during electromagnetic stirring.

2.2 전자기 교반 결과

Fig. 4는 급냉 후 만들어진 소재의 가운데 부위의 미세 조직 사진을 실험 조건별로 나타낸 것이다. 미세 조직 사진을 살펴보면, 0 A의 경우 교반이 거의 이루어지지 않아 수지상정 조직이 그대로 남아있는 조직을 나타내고 있음을 볼 수 있다. 하지만, 40 A 및 100 A의 경우 0 A의 경우와 비교해 볼 때 교반이 이루어졌음을 알 수 있다. 40 A 경우 교반의 정도가 미흡하여 아직 수지상정에 가까운 미세조직을 나타내고 있다. 하지만 전류의 세기가 100 A인 경우 미세조직에서 수지상정 조직을 찾아 볼 수 없다. 이는 교반 시 코일이 받는 전류의 세기가 크면 교반기 내의 전자기력이 증가하여 전자기 교반이 활발히 일어나 미세조직이 더욱 구상화되고 고른 분포를 나타낸다는 것이다.

Fig. 5는 60 A와 80 A로 교반을 실시한 후 응고된 소재의 부위별 미세조직 사진을 나타낸 것이다. 조건 4, 5번 모두 가장자리 또한 교반이 일어난 것을 확인 할 수 있다. 하지만, 가장자리의 경우 가운데 부위에 비해 구상화 정도 및 분포의 정도가 나쁘게 나타났다. 이는 교반기 내에 형성되는 전자기력이 가운데 부위에 집중되기 때문에

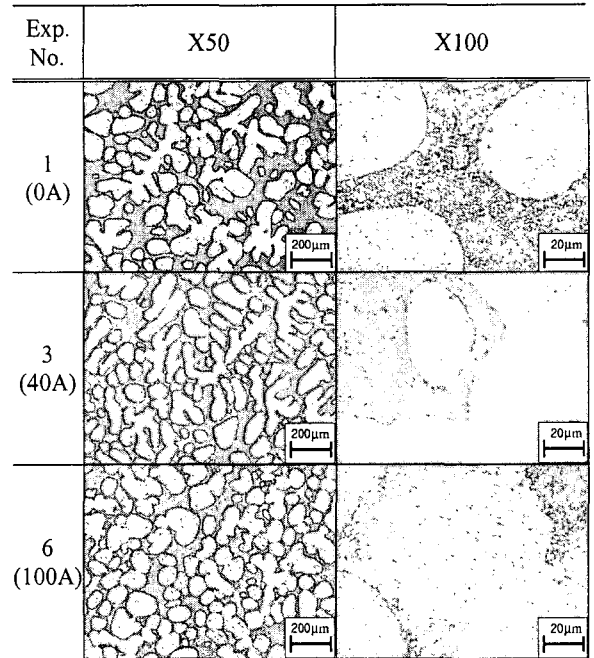


Fig. 4 The comparison of microstructure among experimental conditions.

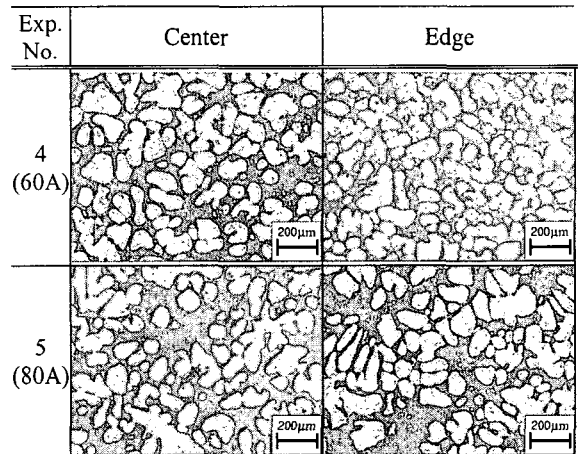


Fig. 5 The comparison of microstructure between center and edge position.

가장자리에 비해 교반의 영향이 크게 나타나기 때문이라고 사료된다.

이러한 현상은 Fig. 6의 사진에서도 확인할 수 있다. Fig. 6은 각각의 실험 조건에서 교반이 이루어진 용탕을 응고한 후, 소재를 절단하여 단면의 형성을 사진으로 나타낸 것이다. 사진에 나타난 것

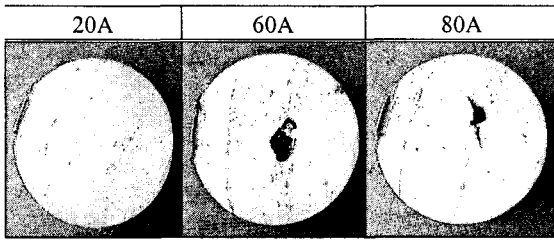


Fig. 6 The photograph of sliced surface of slurry after EMS.

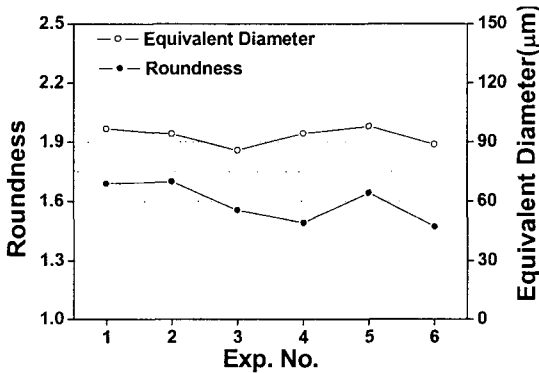


Fig. 7 The comparison of mean roundness and mean equivalent diameter at each experimental condition.

으로 Fig. 5에 나타난 부위별 교반기의 영향을 직접적으로 확인할 수 있다. 교반 된 소재의 가장자리에 비해 가운데 부위는 교반기에서 발생된 강한 전자기장의 영향으로 교반이 매우 활발하게 일어난다. 따라서 교반력이 강한 가운데 부위에서는 Fig. 6와 같이 소재 내에 기공이 발생할 수 있다. 이는 실제 전자기 교반기를 통하여 소재를 교반하고자 할 때 소재의 부위에 따라 교반 양상이 영향을 미쳐 소재 제조 시 영향을 줄 수 있다고 사료되어진다.

Fig. 7은 각각의 교반 조건별로 제작되어진 소재의 미세조직을 상분석한 결과를 나타낸 것이다. 구상화의 정도와 등가지름 모두 교반을 실시하는 전류가 증가함에 따라 영향을 받고 있음을 알 수 있었다. 전류가 증가함에 따라 미세조직이 고른 분포를 보이며 구상화 정도가 증가함을 나타내고 있다.

3. 결 론

Rheology 직접 성형을 위하여 설계·제작되어진

전자기 교반기를 통하여 A356 합금의 공정 조직을 제어하기 위해 실험을 실시하여 전자기가 재료의 미세조직에 미치는 영향에 대해 연구하여 다음과 같은 결과를 얻을 수 있었다.

(1) 전자기 교반기를 이용한 교반 중 전류의 양은 소재의 냉각에 영향을 주지 못하는 요소이다.

(2) 전자기 교반기를 통하여 교반을 실시한 A 356 합금의 입자는 전자 교반의 영향으로 수직상정 조직이 미세화 되고 파괴되어 구상화 정도가 향상되었다.

(3) 전류가 증가 함에 따라 전기력의 증가로 인해 소재 내 입자들의 교반이 활발히 진행되어 구상화 정도가 향상되는 것을 확인 할 수 있었다.

(4) 전자기 교반기를 이용한 교반은 소재의 위치에 상관없이 교반이 이루어짐을 확인 할 수 있었지만 가장가지가 가운데 부위에 비해 전자기 교반기에 의한 영향이 적게 나타남을 알 수 있었다.

후 기

본 연구는 과학기술부 지원하의 국가지정연구실 - Thixo·Rheo 성형연구실(NRL) - 사업 과제외 지원으로 수행되었습니다.

참 고 문 헌

- (1) T. Chikada, 1990, "Light Alloys Parts for Automobiles", Journal of Japan Institute of Light Metals, Vol. 40, pp. 944~950.
- (2) K.P. Young and R. Fitze, 1994, "Semi-Solid Metal Cast Aluminum Automotive Components", Proc. of 3rd Int. Conf. on Semi-solid Processing of Alloys and Composites, pp. 155~176.
- (3) B. Wendinger, 2000, "Serial Production of Net Shaped and Weldable Structural Components by Processing Thixoalloy", Proc. of 6th Int. Conf. on Semi-Solid Processing of Alloys and Composites, pp. 103~108.
- (4) G. Chiarmetta, 1998, "Thixofforming and Weight Reduction - Industrial Application of SeSoF", Proc. of 5th Int. Conf. on Semi-Solid Processing of Alloys and Composites, pp. 87~95.
- (5) 조강래, 김정호, 김경민, 윤의락 "전자교반에 의해 제조된 Al-4.5 wt %Cu 합금의 재가열 시

조직변화에 관한 연구”, 대한금속학회지, Vol. 37, No. 10, pp. 1213~1218.

(6) M.C. Flemings, 1991, “Behavior of Metal Alloys in the Semisolid State”, Metallurgical Transactions A, Vol. 22A, pp. 957~980.