전자교반시스템에서 Sleeve의 크기가 유동특성과 미세조직에 미치는 영향

고재흥*(부산대 대학원 정밀기계공학과), 서판기 (부산대 대학원 정밀기계공학과), 강충길 (부산대 기계공학부)

The effect of the primary particle of the A356 Alloy according to different wall thickness of the sleeve of die-casting by electromagnetic stirrer

J.H.Ko (Mechanical. Eng. Dept. PNU), P.K.Seo (Mechanical. Eng. Dept. PNU), C.G.Kang (Mechanical. Eng. Dept. PNU)

ABSTRACT

Recently in the automotive industries, light and high quality material is strongly required because of emissions regulation issues. In the electromagnetic stirring process, it has many merits that are the exact control ability about material processing and a good point of the protection of environment. In this paper, the morphology of the change of primary Al phase in A356 alloy by electro magnetic stirrer was investigated to obtain the globular structure. The parameters are the current, stirring time, pouring temperature and cooling rate of different wall thickness; 5mm, 15mm, 25mm respectively. By proper selection of the processing parameters, globular primary particles can be obtained by electromagnetic stirrer.

Key Words : Electromagnetic Stirring(EMS), Microstructure, Mean Equivalent Diameter, Image Analysis

1. 서론

전자교반시스템(Electromagnetic stirring system)을 이용한 반응고성형법은 지금까지 국내 소수의 관련 업체의 연구로 인한 기술력 부족으로 현재의 전자교반 관련 기술은 기초단계에 머무르고 있다. 반면 외국업체에서는 자동차의 경량화 연구가 활발히 진행 되면서 반응고성형장비 및 전자교반시스템에 대한 연구가 활발히 이루어지고 있다.[1][2] 반응고성형 제조방법 중 한 방법인 전자교반시스템 성형법은 순수액상에서 성형하는 방법보다 응고시간이 짧아서 수축결함을 줄일 수 있고 제품성형 시 금형에 받는 열 충격을 줄일 수 있으며, 제품의 응고시간이 감소하므로 내부기공을 획기적으로 개선할 수 있다. 또한 반응고성형 온도에서 점성이 액체상태보다 더 높으므로 충전 시 유동형태가 난류로 발달하지 않기 때문에 충전 시 용탕의 흐름에 기인하는 유동불량이 적어지는 등 여러 가지 장점을 가지고 있다.[3] 현재까지 전자교반을 이용한 응고제어 기술은 Thixoforming에서의 빌렛제조와 연속주조법을 통한 철강 생산 등의 한정적인 곳에서만 사용하고 있다. 본 연구에서는 현재 산업용으로 많이 사용되고 있는 A356 소재를 이용하여 전자교반 시 초정입자의 크기 및 분포상태, 구형화 정도를 관찰하였으며 전자교반기술을 다이캐스팅 공정에 적용하여 비자성체 슬리브의 두께에 따른 초정입자의 크기 및 분포도를 관찰하였다. 그리고 용탕의 냉각속도를 MAGMA 소프트웨어를 이용한 해석값과 실험에서 얻어진 결과와 비교함으로써 비자성체 슬리브의 두께에 따른 용탕의 온도가 초정입자크기에 미치는 영향을 고찰하고자 하였다.

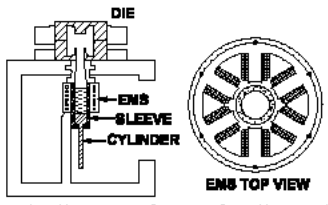


Fig. 1 Schematic diagram of EMS for die casting process

2. 실험

2.1 실험방법

Fig. 2 는 본 실험에 사용된 수평형 전자교반기의 사진이다. 3 상 3 극의 수평형 전자교반기를 이용하여 A356 합금을 교반하였다. 전자교반장치의 크기는 외경 400 mm, 내경 140 mm, 그리고 높이 370 mm 이고 전자교반 동안 용탕의 복사열과 코일에 흐르는 전류의 전도열을 냉각시키기 위해서 코일 내부를 수냉하여 교반기의 과열을 방지하였다. 또한 교반장치 내의 자속밀도를 측정을 위하여 가우스메터(Gauss meter)를 이용하여 교반기 내부의 위치에 따른 가우스를 측정 하였다.

Fig. 2 Horizontal Electromagnetic stirrer

Fig. 3 은 본 실험에 대한 실험장치의 구성과 개략도이다.

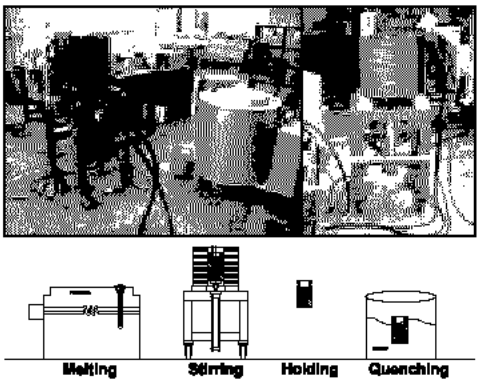


Fig. 3 The process of the experimental for EMS

A356 합금을 전기로에서 용해한 후 교반 설정온도로 가열한 후 전기로로부터 용탕을 꺼내어 전자교반장치에 넣고 교반 한다. 전자교반의 변수로는 입력전류, 교반시간, 용탕온도, 제품성형에 적용하기 위하여 비자성체 슬리브의 두께를 변수로 하여 실험을 하였다. 각각의 조건에 대하여 전자교반하여 얻어진 빌렛은 Fig. 4 와 같이 빌렛의 중간부분에서 Center 와 Edge 를 절단하여 상분석기(imagine analyzer)를 이용하여 초정 입자크기 및 분포상태, 구형화 정도를 판찰하였다.

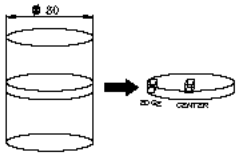
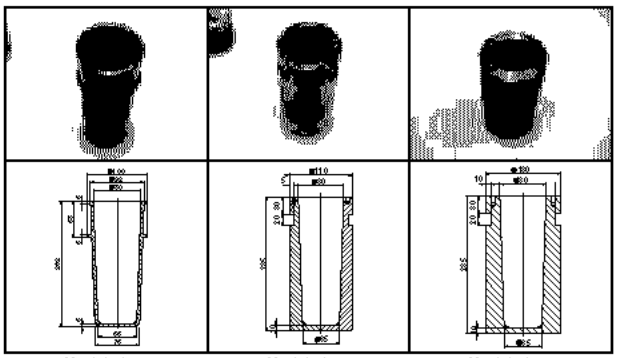


Fig. 4 The position for observing the microstructure

Fig. 5 는 다이캐스팅 공정에 적용하기 위하여 5 mm, 15 mm, 25 mm 의 두께가 서로 다른 슬리브를 제작, 교반을 하여 초정입자들의 크기 및 분포 그리고 구상화정도를 판찰을 하였으며 슬리브의 두께에 따른 용탕의 냉각속도의 관계를 알아 보기 위하여 MAGMA 소프트웨어를 이용한 응고해석을 하여 실험에서 얻어진 온도 결과값과 비교를 하였다.



Wall thickness: 5mm | Wall thickness: 15mm | Wall thickness: 25mm

Fig. 5 The sleeves according to wall thickness

2.2 실험결과

Fig. 7 은 입력전류에 따른 전자기력의 세기를 가우스메타를 이용하여 자속밀도(magnetic flux density)를 측정한 값이다. 입력전류가 증가 함에 따라 자속밀도가 증가하였으며 입력전류가 100 A 일 때 자속밀도가 1500Gauss 값이 측정이 되었다. 그리고 슬리브의 두께에 따른 전자기력의 세기를 측정 하기 위하여 Fig. 6 의 A(Center), B(Edge)의 위치에서 두께에 따른 자속밀도를 측정 하였다. 측정결과 슬리브의 두께는 자속밀도에 큰 영향을 주지 못함을 알 수 있었다. 또한 교반기의 중심부분에서 멀어질수록 자속밀도가 커짐을 알았다.

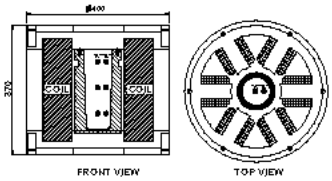
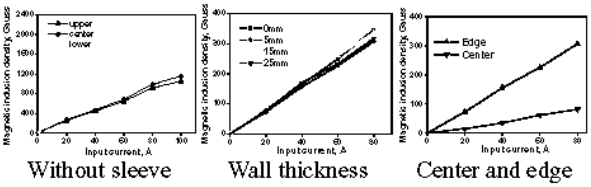


Fig. 6 The measured points for magnetic flux density



Without sleeve Wall thickness Center and edge

Fig. 7 The magnetic flux density according to conditions

Fig. 8 은 교반된 빌렛의 조직을 비교 하기 위하여 A356 합금 원소재를 상분석기를 이용하여 조직을 관찰한 것이다. 대부분 위치에서 수지상정 조직을 나타내고 있다.

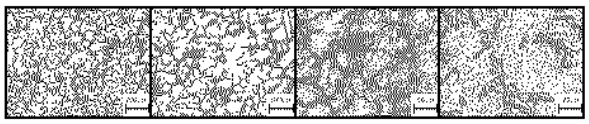
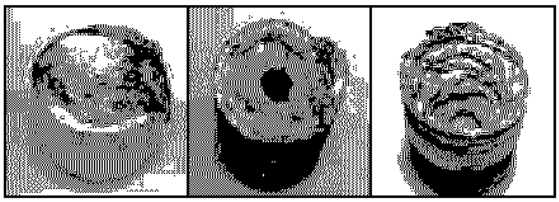


Fig. 8 Microstructure of the As-cast

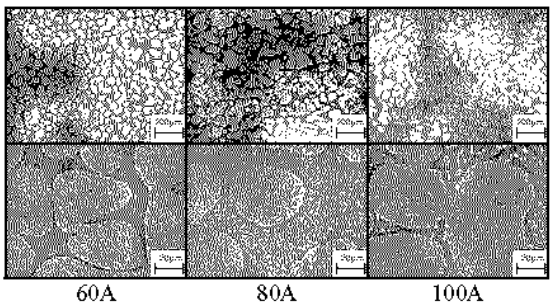
Fig. 9 는 전자교반 동안 입력전류에 따라 교반된 소재의 형상이다. 입력전류가 증가 할수록 교반기에서 작용하는 로렌쯔힘(Lorentz force)이 증가 하여 Center 부분에 패인 형상이 나타났다.



25A 50A 75A

Fig. 9 The behavior of A356 after electromagnetic stirrer

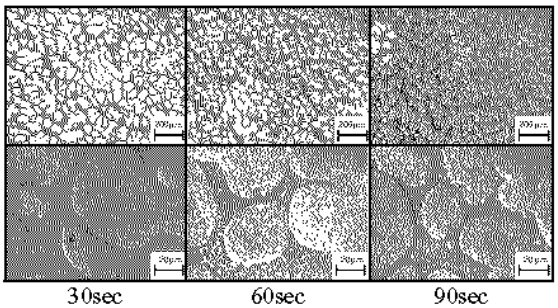
Fig. 10 에서는 입력전류가 미세조직에 미치는 영향을 파악하기 위하여 입력전류에 따른 조직을 비교 한 것이다. 입력전류가 60 A 인 경우 수지상정 조직이 미세하게 파쇄되었으나 80 A 이상에서는 인접 고상입자들간의 응집으로 인하여 고상입자가 조대화되었다.



60A 80A 100A

Fig. 10 Pouring temperature: 655℃; pouring weight: 2.0Kg; frequency: 60Hz; stirring time: 60sec

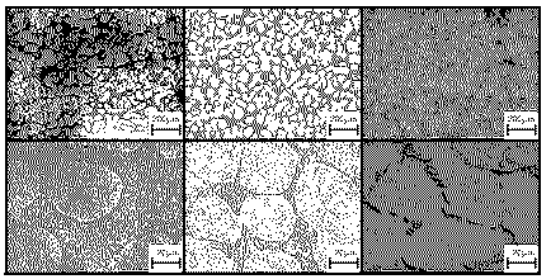
Fig. 11 에서는 교반시간에 따른 미세조직의 변화를 관찰한 것으로 교반시간이 길수록 조직이 미세화됨을 알 수 있으나 60 초 이상으로 교반한 경우 파쇄된 조직들이 서로 결합하여 조직이 점점 조대화됨을 알 수 있었다.



30sec 60sec 90sec

Fig. 11 Pouring temp.: 655℃; pouring weight: 2.0Kg; frequency: 60Hz; current: 60A

Fig. 12 에서 초기 용탕온도가 미세조직에 미치는 영향을 파악한 결과 675 ℃ 이상의 용탕온도에서는 액상상태에서의 교반으로 인하여 조직이 조대하였다. 그러나 655 ℃ 의 용탕의 온도에서는 미세하고 구상화된 조직을 얻을 수 있었다



655℃ 675℃ 715℃

Fig. 12 Pouring weight: 2.0Kg; frequency: 60Hz; current: 80A; stirring time: 60sec

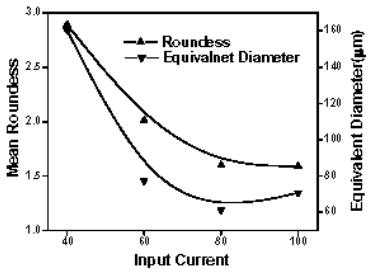
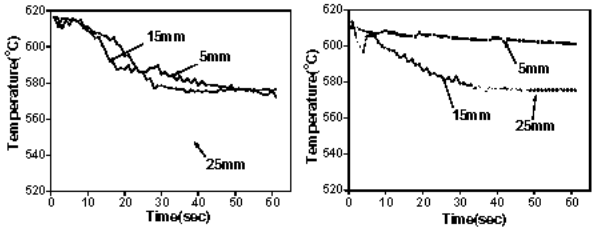


Fig. 13 The comparison of mean roundness and mean Equivalent diameter according to current

Fig. 14 는 슬리브의 두께변화에 대하여 K-type 열전대를 이용하여 냉각속도를 나타낸 것이다. 슬리브의 두께가 두께울수록 냉각속도가 빠르게 진행되

었으며 교반 동안에서의 냉각속도는 교반 하지 않은 용탕 온도에 비하여 늦게 냉각되는 것을 알 수 있었다.

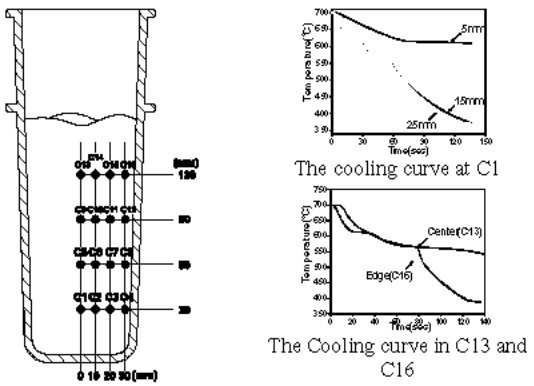


Not Stirring

Current: 40A Stirring time: 60sec Pouring temp.:680℃

Fig. 14 The cooling curve according to wall thickness.

Fig. 15 은 MAGAMA 소프트웨어를 이용하여 슬리브 두께 대한 응고해석 결과이다. C1 에서 C16 까지 해석한 결과 슬리브의 Center 부분이 Edge 부분보다 최고 40 ℃까지 온도 차이가 나는 것을 알 수 있었다. 또한 해서결과 또한 슬리브의 두께가 두꺼울수록 빨리 냉각되는 것을 알게 되었다.

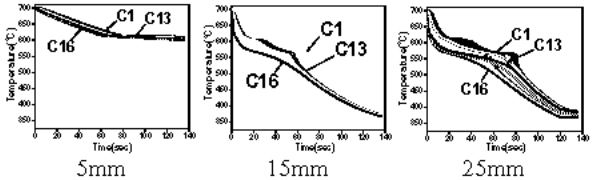


The cooling curve at C1

The Cooling curve in C13 and C16

Fig. 15 The cooling curve in 5mm sleeve by MAGMA

Fig. 16 는 C1~C16 부분의 냉각곡선을 그래프로 표시 한 것이다. C13 지점에 비하여 C1 지점이 더 높은 온도값이 측정되었으며 Edge(C16) 부분의 온도값 보다 Center(C13) 부분의 온도값이 더 높은 온도가 측정이 되었다.



5mm 15mm 25mm

Fig. 16 The cooling curve according to wall thickness by MAGMA

4. 결론

전자교반시스템에서 슬리비의 두께에 따른 성형성을 실험한 결과는 다음과 같다.

(1) 교반전류가 미세조직에 미치는 영향을 파악한 결과 교반전류가 60 A 인 경우 수지상정 조직이 미세하게 파쇄되었으나 80 A 이상에서는 인접 고상입자들간의 응집으로 인하여 고상입자가 조대화되었다.

(2) 초기 용탕온도가 미세조직에 미치는 영향을 파악한 결과 675 ℃ 이상의 용탕온도에서는 액상상태에서의 교반으로 인하여 조직이 조대하였다. 그러나 655 ℃ 의 용탕의 온도에서는 미세하고 구상화된 조직을 얻을 수 있었다.

(3) 교반시간에 따른 미세조직의 변화를 관찰한 결과 교반시간이 길수록 조직이 미세화됨을 알 수 있으나 60 초 이상으로 교반한 경우 파쇄된 조직들이 서로 결합하여 조직이 점점 조대화됨을 알 수 있었다.

(4) 비자성체 슬리브의 두께에 따른 교반 실험을 한 결과 슬리브의 두께가 두거울수록 용탕의 냉각속도과 빨라져 조직이 조대화됨을 알 수 있었다. 슬리브의 두께가 5mm 인경우 교반에 의하여 냉각속도가 느려지는 것을 관찰 하게 되었으며 교반된 빌렛의 조직은 구상화가 된 조직을 얻을 수 있었다.

후 기

본 연구는 산업자원부 지원하의 메카노 21 중기거점사업 과제의 지원으로 수행되었으며, 이에 감사드립니다.

참고문헌

(1) S. Ji, Z. Fan and M. J. Bevis, "Semi-Solid Processing of Engineering Alloys by a Twin-Screw Rheomoulding Process", Mater. Sci. Eng. A, Vol. 299, pp. 210~217, 2001,.

(2) M. Adachi, S. Sato, H. sasaki, Y. Harasa, T. Maeda, and N. Ishibash, "The Effect of Casting Condition for Mechanical Properties of Cast Alloys made with New Rheocasting Process", Proc. of the 7th Int. Conf. on Semi-Solid Processing of Alloys and Composites, pp. 629~634, 2002..

(3) 강충길, 서판기, 손영익 " 반용융 다이캐팅공정에 있어서 속도 제어방법이 제품의 특성에 미치는 영향" , 대한기계학회논문집 A, 제 26 권, 제 10 호, pp. 2034~2043, 2002.