

과공정 Al-18%Si합금의 레올로지 성형시 기계적 교반을 이용한 입자 미세화 연구

강 용 기, 박 진 옥, 문 영 훈

부산대학교 정밀정형 및 금형가공연구센터

1. 서론

근래에 산업전반의 소재 경량화 추세에 부응하여 주조성이 우수하고 비강도가 큰 Al합금의 사용이 갈수록 확대되고 있다. 특히, 자동차 및 항공기등의 수송산업분야에서 Al-Si합금의 주물제품은 그 경량화 대체효과가 매우 크며, 그 중에서도 아공정 Al-Si합금이 상당부분을 차지하고 있다. 그러나, 최근에 들어서는 우수한 내마모성과 내식성, 그리고 높은 고온경도와 강도 및 열전달계수 등을 가지고 있어 엔진블록, 피스톤, 실린더, 에어 컴프레서, 펌프등에 경량화 대체가 가능한 과공정 Al-Si합금에 대한 관심이 높아지고 있다.

그러나, 14~25% Si를 함유하고 있는 과공정Al-Si합금의 우수한 기계적 성질이 높은 Si함량에 의해서 기인되지만, 반면에 통상의 주조방법을 사용할 경우에는 초정 Si입자의 조대화와 거시편석을 유발시켜 합금의 제조 및 기계가공에 어려움도 동시에 준다. 따라서, 초정 Si의 미세화와 형상제어에 많은 연구가 이루어지고 있다.¹⁻⁷⁾

초정 Si를 미세화시키는 방법으로는 냉각속도를 증가시키는 방법과 미세화제를 첨가시키는 방법등이 있으며, 현재 가장 많이 사용되고 있는 방법은 미세화제 첨가법이다.⁸⁻⁹⁾ 미세화제로 가장 일반적으로 사용되는 원소는 P이며, 정제된 P만을 사용하기보다는 Cu-P 형태나, Al-Cu-P 형태로 이용되고 있다. P에 의해 미세화되는 요인은 P가 용탕에 첨가되면 AIP를 형성하고 이 AIP가 불균일 핵생성자리로서 작용하기 때문이다. 따라서, AIP를 소재 전반에 골고루 분산시킬 수만 있다면 아주 미세하고 균일한 초정 Si를 얻을 수 있을 것이다. 그러나 단순한 P의 첨가 방법으로는 균일한 AIP를 만들기가 사실상 매우 어렵우며, 미세조직입자의 구형화를 유도하기가 어렵다.

따라서, 본 연구에서는 고상과 액상이 공존하는 영역에서 강력한 기계적 교반기를 이용한 레올로지 성형방법⁹⁻¹²⁾과 P의 첨가, 그리고 탈가스처리와 동시에 AIP를 골고루 분산시키는 것이 가능한 Ar Gas bubbling법으로 시편을 제작하여 초정 Si의 미세화와 균일한 분포정도, 그리고 구형화정도를 광학현미경으로 조직검사를 하여 미세조직을 관찰하고, 이를 비교·분석하였다.

2. 실험 방법

2.1 실험 장치

본 연구에 사용된 장치는 크게 유도가열로, 도가니, Ar gas bubbling장치, 교반기, 금형, 그리고 용탕단조용 유압프레스가 있다. Ar gas bubbling장치는 흑연도가니의 밑면에서 약 10mm정도 떨어진 위치에서 용탕전체에 골고루 퍼지도록 설치하였다. 금형의 직경은 $\phi 40$ 으로 하였으며 금형온도는 200°C 로 유지하였다. 용탕단조용 프레스의 가압력은 12ton이고 가압유지시간은 10초이다. Fig. 1은 기계적 교반의 개략도로서 초정 Si의 미세화제인 Cu-7%P 첨가 후 용탕온도가 $720\sim 750^{\circ}\text{C}$ 사이가 되면 교반을 시작하여 성형직전까지 교반하였다. 그리고, 성형된 시편의 조직을 관찰하기 위하여 부식액은 5mol의 NaOH 용액에 0.05%HF+0.02%HCl을 혼합하여 제조하였다.

2.2 시료 및 교반기 제작

본 연구에 사용된 재료는 Al-18%Si합금으로 이를 제조하기 위해 모재 Al-20%Si와 99.86%Al을 흑연도가니에 함께 넣고 용해하였으며, 그 화학성분은 Table. 1과 같다. Fig. 2는 본 실험에서 사용된 교반기로써 그림의 오른쪽의 교반기는 일반적으로 많이 사용되는 propeller형 교반기이며, 왼쪽의 교반기는 본 연구에서 새로이 고안한 sieve형 교반기이다. 용탕의 유동을 효과적으로 이끌어내 수 있도록 고안되어 있다. 예비실험을 통해 propeller형 교반기의 경우 적정 rpm을 1000으로 하였으며 sieve형 교반기는 적정 rpm을 500으로 하였다.

3. 실험 결과

3.1 교반기 효과

먼저, P첨가에 따른 Si의 미세화정도를 살펴보기 위해 P의 최적량을 60ppm으로 정하고³⁻⁴, 이에 따른 변화를 알아보기 위해 Fig. 3과 같은 실험절차로 실험하였다. Fig. 4는 P의 첨가 유무와 교반기의 종류에 따른 초정 Si의 미세화와 균일한 분포정도를 나타낸 그림이다. P를 첨가하지 않은 조직의 경우에 초정 Si가 매우 조대했으며, P의 첨가에 따라서 초정 Si가 미세해짐을 알 수 있다. 그리고, 교반기 효과에 있어서는 propeller형 교반기보다 sieve형 교반기가 낮은 rpm에도 불구하고 초정 Si를 더 균일하게 분포시킴과 아울러 미세화시켰다. 성형된 봉의 상·중·하부에서 조직을 검사한 결과 대체로 하부로 갈수록 초정 Si의 크기가 크고 초정 Si의 분포량이 적었다. Sieve형의 경우 상·중·하부의 초정 Si 분포가 비교적 균일하였는데 이는 Sieve형 교반기가 균일한 초정 Si의 분포를 유도하는데 효율적인 형태임을 보여주고 있다.

3.2 Ar gas bubbling 효과

일반적으로 Ar gas bubbling법은 용탕의 탈가스처리에 사용되고 있지만 gas bubbling 자체만으로는 과공정 Al-Si합금의 P침가시 미세화효과에 영향을 준다 왜냐하면 용탕내 P가 첨가되면 Al과 결합하여 AIP를 형성하는데 이 때 gas bubbling에 의한 용탕의 유동이 생겨 AIP를 골고루 분산되도록 도와주는 역할을 하기 때문이다. 따라서 Ar gas bubbling법을 사용할 경우 탈가스처리와 P의 미세화효과를 동시에 만족시키는 장점이 있다. Fig. 5는 Ar gas bubbling 사용 유무에 따른 미세조직을 비교한 그림으로 그림에서 보는 바와 같이 bubbling을 하지 않은 조직의 경우 조대하고 침상의 초정 Si가 나타나고 있다.

2.3 고상물의 영향

Fig. 6은 각 성형온도를 590, 610, 630℃에서 성형한 시편의 미세조직을 관찰한 그림이다. 성형온도별 고상률을 조사한 결과 각각 48.7%, 69.3%, 89.7%였으며, 고상률이 70%전후에서 가장 미세화된 조직을 얻을 수 있었다. 따라서, 610℃전후에서 성형하는 것이 입자 미세화 측면에서 가장 효과적인 것으로 판단된다.

4. 결론

과공정 Al-18%Si합금의 레올러지 성형시 초정 Si의 미세화와 균일한 분산정도 그리고 그 형화를 위해 자체 고안된 sieve형 교반기를 일반 propeller형 교반기와 비교·분석하여 실험한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. sieve형 교반기는 교반시 격자사이로 강력한 교반을 유도하여 초정 Si의 입자를 분쇄시켜 rpm이 2배나 큰 propeller형 교반기보다도 기계적 교반효과가 우수하였다.
2. Ar gas bubbling법으로 초정 Si의 미세화 이루어짐을 확인하였으며, 고상률 70%내외에서 입자 미세화 효과가 컸다.
3. sieve형 교반기 형상의 최적 설계에 대한 연구가 이루어진다면 더 나은 결과를 도출할 것으로 사료된다.

참고 문헌

1. 한요섭, 이호인, 김성수, 김정식 : 주조, 13 (1993) p.259
2. D.M. Wang, Z.Q. Zheng and Z.G. Chen : The 4th International Conference on ALUMINUM ALLOYS, p.123
3. Tatsuya Ohmi, Kouki Minoguchi, Masayuki Kudoh, Youichi Itoh and Matsuura : J. Japan Insr. Metals, 58 (1994) p.1311
4. 박재영, 이재상, 나형용 : 주조, 15 (1995) 262

5. 안중호, 송인혁, 한유동 : 주조, 16 (1996) 61
6. 이태호, 임성철, 김정호, 이창희, 윤의박 : 주조, 16 (1996) p.297
7. Eiji Kato, Yoshisada Ueda and Akihiro Matumoto : 鑄物, 62, 4 (1990) 283
8. 한상봉, 김지훈, 류선봉, 박원욱, 예병준 : 주조, 17 (1997) p.347
9. M. Johnsson, L. Arnberg, W.H.M. Alsem, P.C. van Wiggen, and E.H. Klein Negelvoort : The 3rd International Conference on ALUMINUM ALLOYS, p176
10. Charles Vives : Metallurgical Transactions 23B (1992) p.189
11. L Salvo, M Suery, Y De Charentenay and W Loue : 4th International Conference on Semi-solid Processing of Alloys and Composite (1996) p.10
12. I Diewwanit and MC Flemings : 4th International Conference on Semi-solid Processing of Alloys and Composite (1996) p.30

Table 1. Chemical composition of the Al-18%Si

	Al	Si	Fe	Cu	Mn	Cr	Ni	Zn	Ti	V
Al-18%Si	-	18.137	0.178	0.016	0.012	0.002	0.009	0.006	0.012	0.006

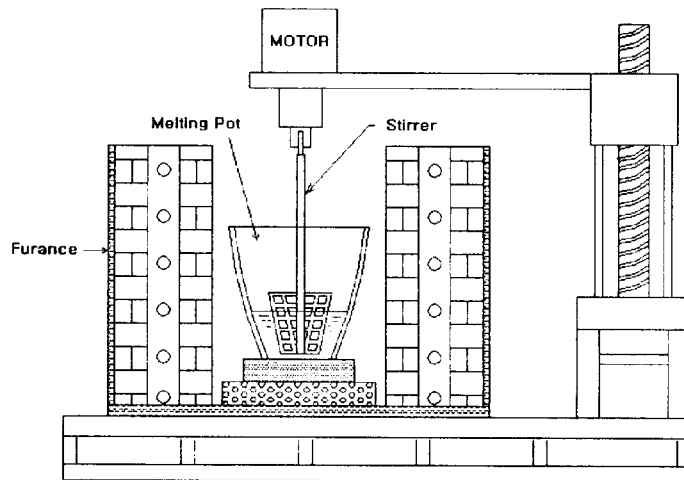


Fig. 1 Schematic illustration of mechanical agitation.

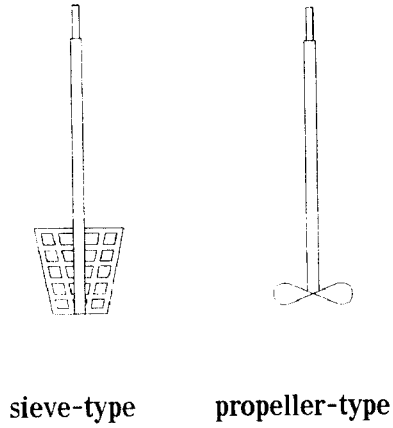


Fig. 2. The Stirrer to be used in the experiment.

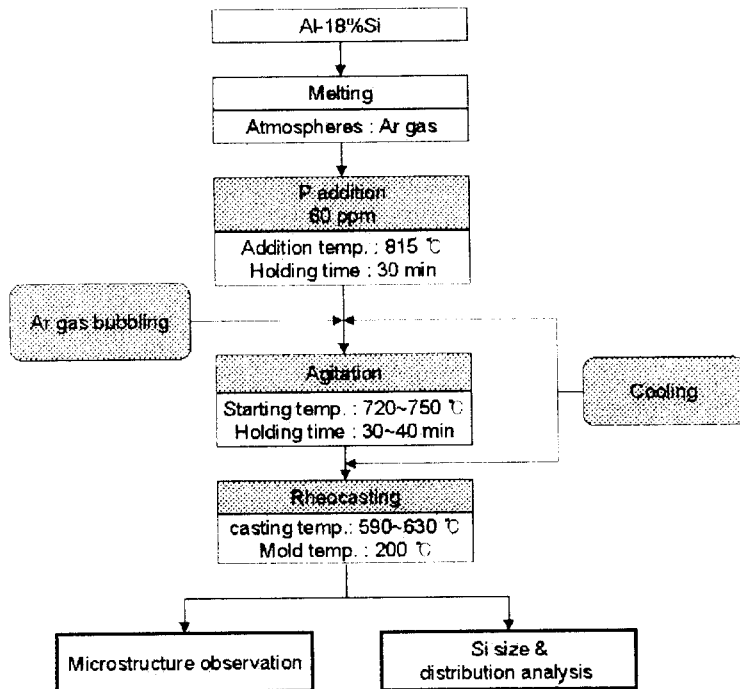


Fig. 3. Flow chart of experimental procedure.

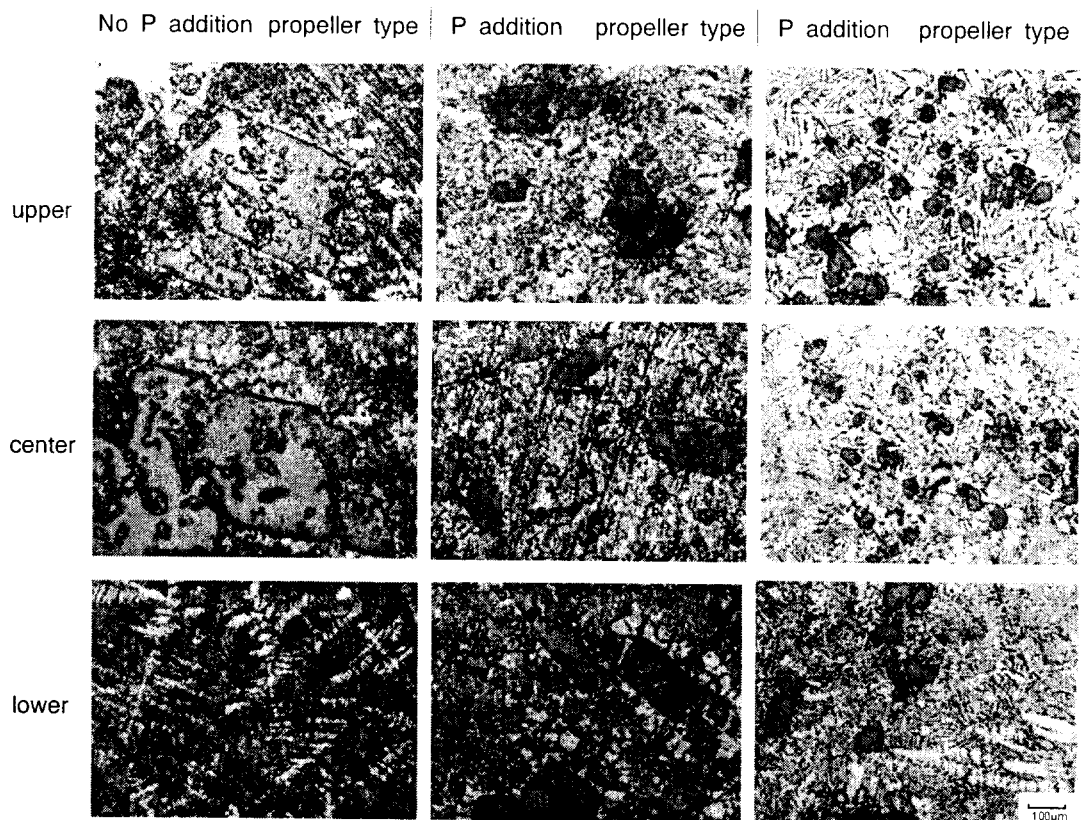


Fig. 4. Effect of P addition and stirrer type on the microstructural appearance.

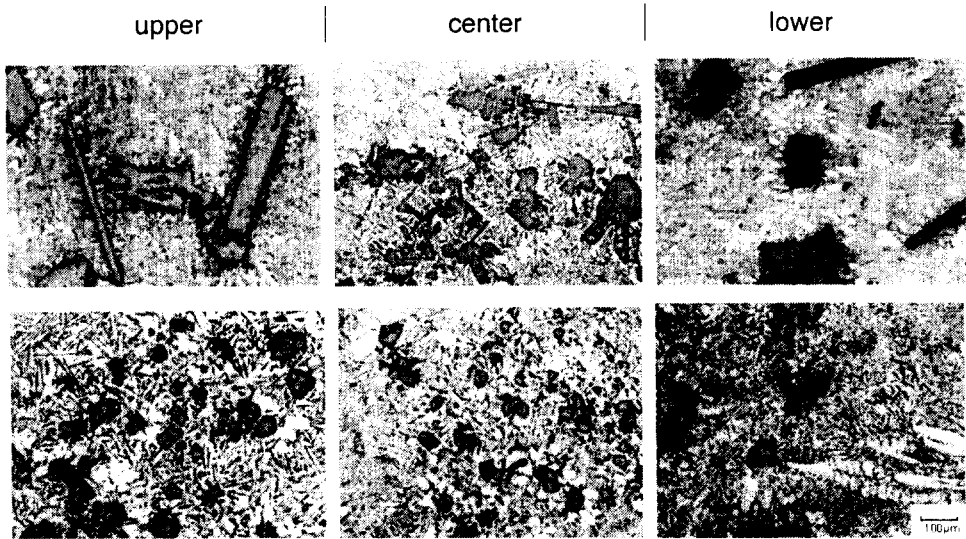


Fig. 5. Effect of Ar gas bubbling on the microstructural appearance.

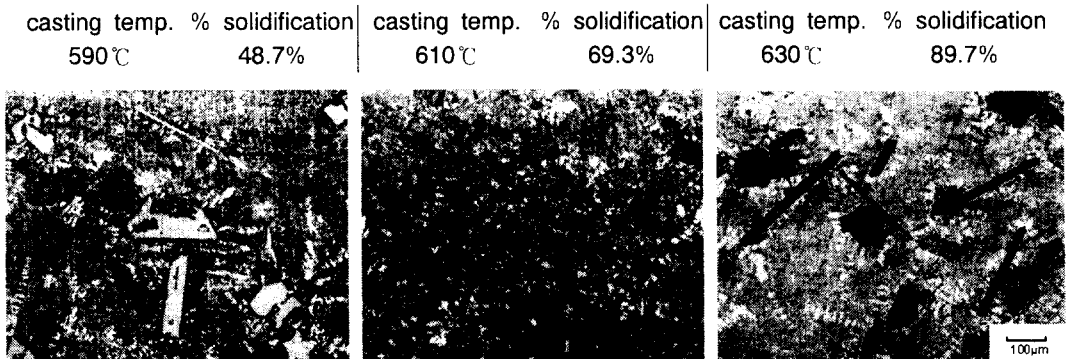


Fig. 6. Effect of solidification ratio on the microstructural appearance