

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

강용기* · 박진욱* · 강성수** · 강충길** · 문영훈**
(2000년 2월 9일 접수)

Studies on Grain Size Refinement for Rheocasting of Hypereutectic Al-18% Si by Using Sieve Type Mechanical Stirrer

Y. K. Kang, J. W. Park, S. S. Kang, C. G. Kang and Y. H. Moon

Abstract

The studies on grain size refinement for rheocast processing of hypereutectic Al-18%Si alloys have been investigated in the present study. To increase the efficiency of mechanical stirring, sieve type stirrer are newly designed and implemented for rheocasting of hypereutectic Al-18%Si alloy. Mechanical stirring of semi-solid slurry by using sieve type mechanical stirrer results in morphological changes of the primary Si particles, from angular rod shape to near spherical shape and uniform distribution of proeutectic Si. The remarkable spheroidization of primary Si particles and distributional uniformity of proeutectic Si show well the efficiency of sieve type mechanical stirring method which can accelerate the coalescence-fracture-wear of the individual particles by strong turbulent flow between lattices during rotation of sieve type stirrer

Key Words : Grain Size Refinement, Rheocasting, Hypereutectic Al-18%Si alloy, Sieve Type Mechanical Stirrer

1. 서론

근래에 산업전반의 소재 경량화 추세에 부응하여 주조성이 우수하고 비강도가 큰 Al합금의 사용이 갈수록 확대되고 있다. 특히, 자동차 및 항공기 등의 수송산업분야에서 Al-Si합금의 주물제품은 그 경량화 대체효과가 매

우 크며, 그 중에서도 아공정 Al-Si합금이 상당부분을 차지하고 있다. 그러나 최근에 들어서는 우수한 내마모성과 내식성, 그리고 높은 고온 경도와 강도 및 열전달 계수 등을 가지고 있어 엔진블록, 피스톤, 실린더, 에어컴프레서, 펌프 등에 경량화 대체가 가능한 과공정 Al-Si합금에 대한 관심이 높아지고 있다.

* 부산대학교 대학원
** 부산대학교 정밀정형 및 금형가공연구센터

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

14~25% Si를 함유하고 있는 과공정 Al-Si합금의 우수한 기계적 성질이 높은 Si함량에 기인하지만, 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 방법 등이 있으며, 현재 많이 사용되고 있는 방법은 미세화제 첨가법이다.^(8~9) 미세화제로 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 미세하고 균일한 초정 Si를 얻을 수 있을 것이다. 그러나 단순한 P의 첨가 방법으로는 균일한 AIP를 만들기가 사실상 매우 어려우며, 미세조직입자의 구형화를 유도하기가 어렵다.

따라서, 본 연구에서는 고상과 액상이 공존하는 영역에서 강력한 교반력을 갖는 기계적 교반기를 이용한 레울리지 성형^(9~12)을 통해 과공정 알루미늄 합금의 미세조직을 미세화 하고자 하였다. 이를 위해 기계적 교반외에 P의 첨가, 그리고 탈가스처리와 동시에 AIP를 골고루 분산시키는 것이 가능한 Ar Gas bubbling법 등을 이용하여 시편을 제작하여 초정 Si의 미세화와 균일한 분포정도, 그리고 구형화정도를 광학현미경으로 미세조직을 관찰하고, 인장시험으로 각 시편의 기계적 성질을 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 20mm정도 떨어진 위치에서 용탕전체에 골고루 퍼지도록 설치하였다. 금형은 직경이 $\phi 40$ 이고,

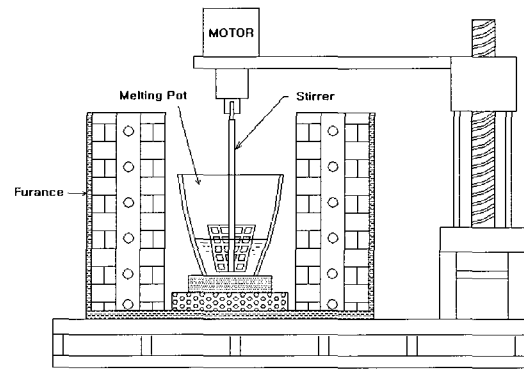


Fig. 1 Schematic illustration of mechanical agitation

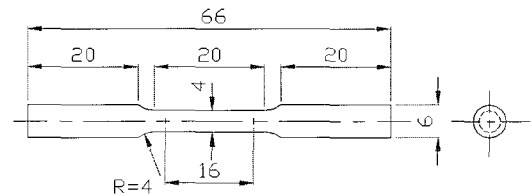


Fig. 2 Tensile specimen

길이가 120mm인 환봉 제작용이며, 금형온도는 200°C로 유지하였다. 용탕단조용 프레스의 가압력은 12ton이고 가압유지시간은 10초이다. Fig. 1은 기계적 교반의 개략도로서 초정 Si의 미세화제인 P를 Cu-7%P의 합금형태로 첨가한 후 용탕온도가 720~750°C사이가 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 인장시험

본 연구에 사용된 재료는 Al-18%Si합금으로 이를 제조하기 위해 모재 Al-20%Si와 일정비율의 99.86%Al을 흑연도가니에 함께 넣고 용해하였으며, 그 화학성분은 Table. 1과 같다. 인장시편은 ASTM B557을 참조하여

Fig. 2와 같은 subsize로 제작하였으며, 10톤급 MTS장비에서 인장시험을 행하였다.

2.3 교반기 제작 및 실험절차

Fig. 3은 본 실험에 사용된 교반기로서 그림의 오른쪽은 일반적으로 많이 사용되는 있는 propeller형 교반기이며, 왼쪽의 교반기는 본 연구에서 고안한 sieve형 교반기이다. 용탕의 유동을 효과적으로 이끌어내어 강력한 교반을 할 수 있도록 고안되었다. propeller형 교반기의 경

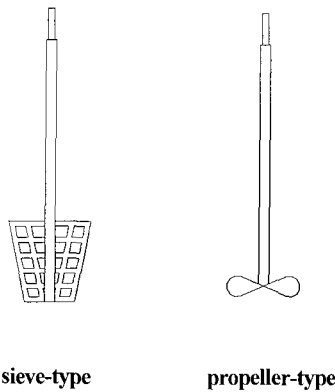


Fig. 3 The Stirrer to be used in the experiment

우 최대 회전속도를 1000rpm으로 선택하였으며, 교반효과가 뛰어난 sieve형 교반기는 500rpm으로 선택하였다.

간략하게 실험절차를 설명하면 Fig. 4에 나타난 것처럼 실험조건을 P의 첨가 유무, Ar gas bubbling의 사용 유무, 교반기의 사용유무 및 종류, 그리고 고상률의 변화 등으로 선택하여 아르곤 분위기에서 각 실험조건별로 다수의 실험을 하여 각 시편의 초정 Si크기를 조사하고, 인장시험으로 물성치를 구하였다. 먼저, P의 첨가유무에 따른 영향을 살펴보기 위하여 P의 최적량을 60ppm으로 정하고,⁽³⁻⁴⁾ 첨가시 용탕의 온도를 약 815°C로 하였다. Ar gas bubbling은 P를 첨가한 후 바로 시작하여 교반을 시작하기 직전까지 bubbling을 하였다. 교반은 액상에서 고상으로 상변태가 일어나기 전 즉, 용탕온도가 720~750°C인 범위내에서 기계적 교반을 시작하였으며, 성형을 시작하기 직전까지 교반하였다.

고상률에 따른 영향을 알아보기 위하여 성형온도를 590~630°C로 변화시키면서 실험하였으며, 성형후 시편의

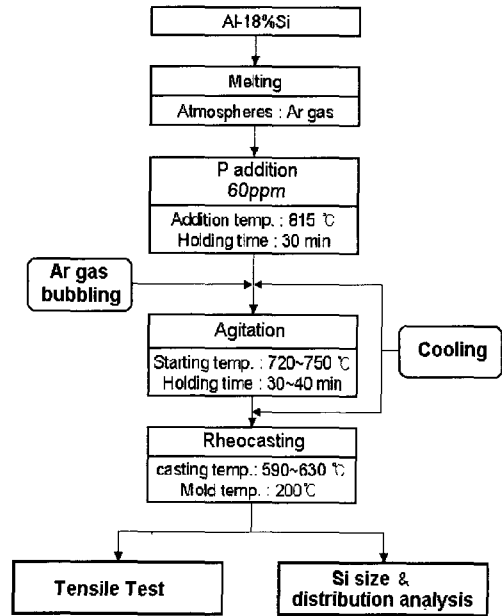


Fig. 4 Flow chart of experimental procedure

미세조직을 관찰하여 최적의 고상률을 구하였다. 용탕내 액상에서 고상으로 변태된 고상률의 정도는 Al-Si상태도를 참조하여 근사적으로 구하였다.

3. 실험 결과

3.1 교반기 효과

Fig. 5는 P의 첨가 유무와 교반기의 종류에 따른 초정 Si의 미세화와 균일한 분포정도를 나타낸 그림이다. P를 첨가하지 않은 조직의 경우에 초정 Si이 매우 조대하였으며, P의 첨가에 따라서 초정 Si이 미세해짐을 알 수 있다. 그리고, 교반기 효과에 있어서는 propeller형 교반기보다 sieve형 교반기가 낮은 rpm에도 불구하고 초정 Si을 더 균일하게 분포시키고 아울러 미세화시켰다. 성형된 붕의 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.

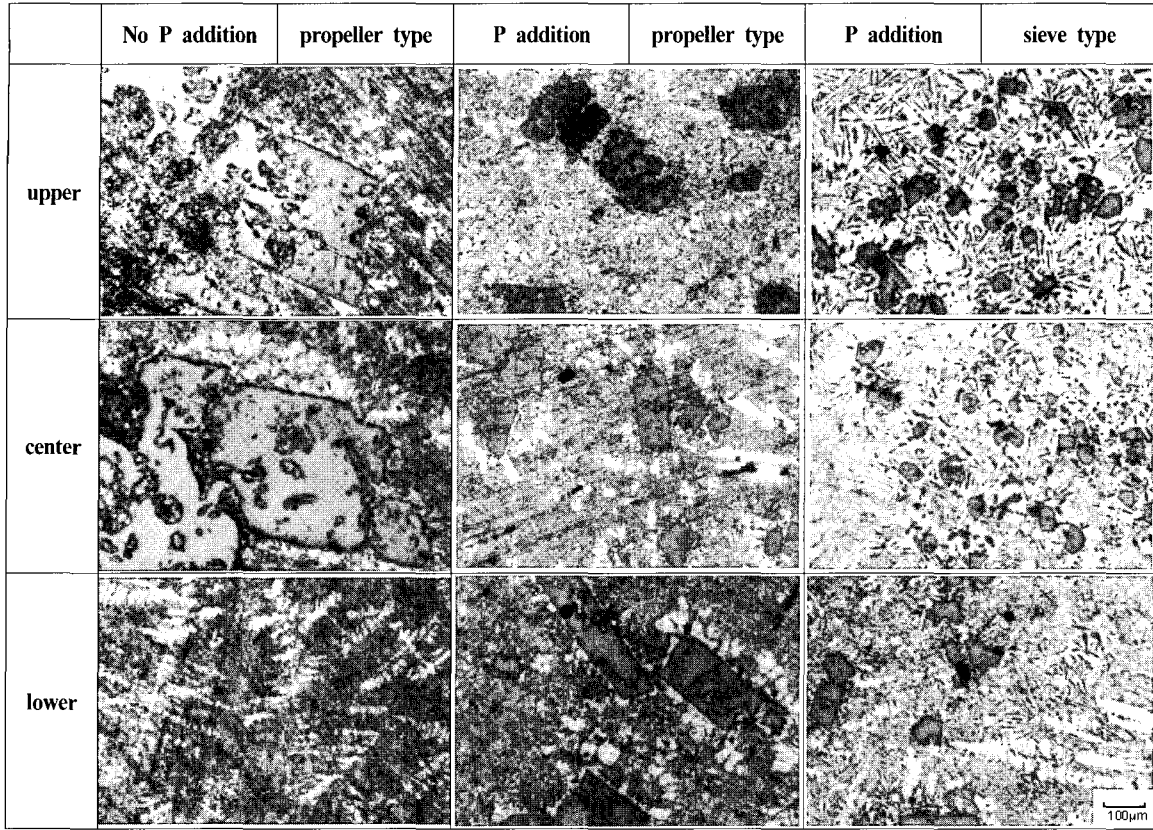


Fig. 5 Effect of P addition and stirrer type on the microstructural appearance

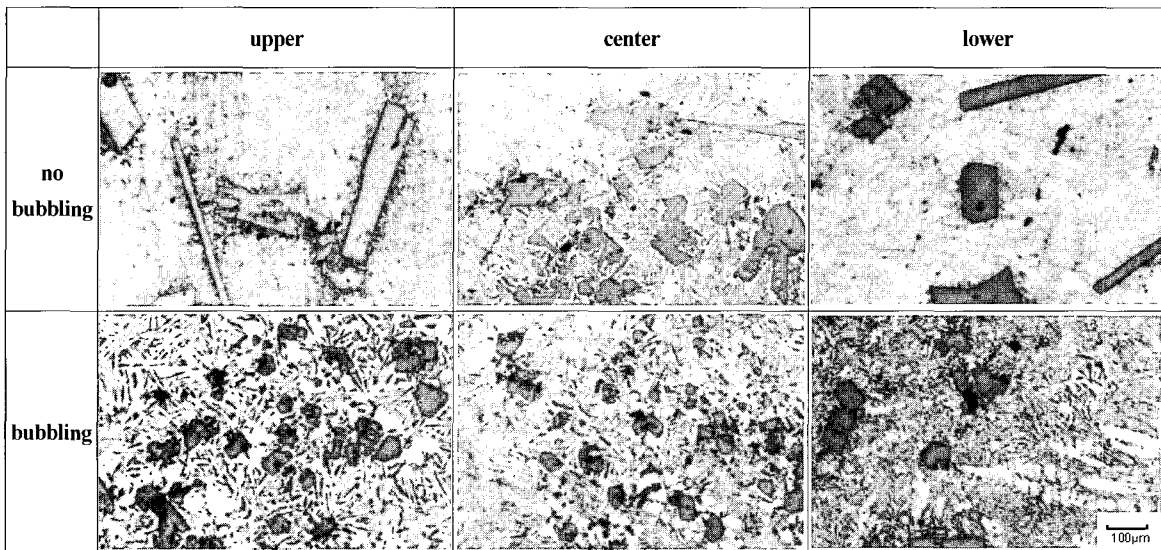


Fig. 6 Effect of Ar gas bubbling on the microstructural appearance

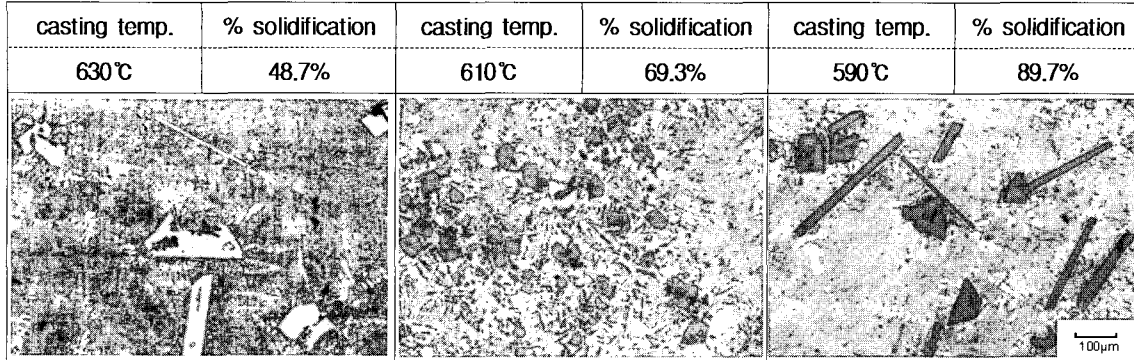


Fig. 7 Effect of % solidification on the microstructural appearance

3.2 Ar gas bubbling 효과

일반적으로 Ar gas bubbling은 용탕의 탈가스처리에 사용되고 있지만 gas bubbling 자체만으로도 과공정 Al-Si 합금의 P첨가시 미세화효과에 영향을 준다. 왜냐하면 용탕 내에 P가 첨가되면 Al과 결합하여 AlP를 형성하는데 이 때 gas bubbling에 의한 용탕의 유동이 생겨 AlP를 골고루 분산되도록 도와주는 역할을 하기 때문이다. 따라서, Ar gas bubbling법을 사용할 경우 탈가스처리와 P의 미세화효과를 동시에 만족시키는 장점이 있다. Fig. 6은 Ar gas bubbling 사용 유무에 따른 미세조직을 비교한 그림으로 그림에서 보는 바와 같이 bubbling을 하지 않은 조직의 경우 조대하고 침상의 초정 Si이 나타

나고 있다.

3.3 고상률의 영향

Fig. 7은 각 성형온도를 630, 610, 590°C에서 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°C전후에서 성형하는 것이 입자 미세화 측면에서 가장 효과적인 것으로 판단된다.

3.4 기계적 성질

각 실험조건에 따른 시편의 인장 물성치는 Table 2에

Table 2 Mechanical properties of each specimen

Specimen Type	YS(kg/mm ²)	UTS (kg/mm ²)	Uniform Elongation	Total Elongation
a	7.75	27.08	0.040	0.049
b	10.50	28.75	0.052	0.058
c	11.13	30.13	0.052	0.058
d	12.80	32.59	0.051	0.057

- a: ● No P addition, ● No Ar-bubbling, ● No Stirring
 b: ● P addition, ● No Ar-bubbling, ● Stirrer: Propeller type
 c: ● P addition, ● Ar-bubbling, ● Stirrer: Propeller type
 d: ● P addition, ● Ar-bubbling, ● Stirrer: Sieve type

나타나 있는 것처럼 P의 첨가, Ar gas bubbling, 그리고 교반의 유무에 따라서 항복강도와 인장강도, 그리고 연신률이 증가함을 알 수 있다. 또한, 교반기의 종류에 따른 비교에서는 sieve형 교반기가 propeller형 교반기에 비하여 기계적 성질이 우수함을 알 수 있다. 이것은 미세조직에서 관찰된 것처럼 sieve형 교반기가 propeller형 교반기에 비해 교반력이 우수하여 초정 Si입자를 미세화 시킴과 동시에 골고루 분산시키기 때문이다.

4. 결 론

과공정 Al-18%Si합금의 레올러지 성형시 초정 Si의 미세화와 균일한 분산정도, 그리고 구형화를 위해 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 미세화가 이루어짐을 확인하였으며, 고상률 70%내외에서 입자 미세화 효과가 컸다.

(3) Ar gas bubbling과 P를 첨가한 상태에서 sieve형 교반기를 사용한 경우 가장 미세화된 미세조직이 얻어졌으며, 인장물성도 우수하였다.

후 기

본 연구는 1998년도 한국학술진흥재단의 과학기술기초중점연구지원연구 기계공학(1998-018-E00186) 지원으로 수행되었으며, 이에 감사드립니다.

참 고 문 헌

(1) 한요섭, 이호인, 김성수, 김정식, 1993, "주조용 B390 알루미늄합금의 조직과 기계적 성질에 대한 각종 주조법의 영향", 주조, vol.13 p.259.
 (2) D.M. Wang, Z.Q. Zheng and Z.G. Chen, "Refinement of primary silicon in hyper-eutectic Al-Si alloy by P additions prepared by I/M method", The 4th International Conference on

ALUMINUM ALLOYS, p.123.

(3) Tatsuya Ohmi, Kouki Minoguchi, Masayuki Kudoh, Youichi Itoh and Kiyotaka Matsuura, 1994, "Control of primary silicon crystal size of semi-solid hypereutectic Al-Si alloy by slurry-melt mixing process", J. Japan Inst. Metals, Vol.58, p.1311.
 (4) 박재영, 이재상, 나형용, 1995, "과공정 Al-Si합금에서의 초정 및 공정 Si의 동시미세화", 주조, Vol.15, p.262.
 (5) 안중호, 송인혁, 한유동, 1996, "고액 공존영역 온도 열처리에 의한 Al-Si합금의 초정 구형화", 주조, Vol.16, p.513.
 (6) 이태호, 임성철, 김정호, 이창희, 윤의박, 1996, "과공정 Al-Si합금에서 초정 미세화 및 공정 Si의 개량화에 관한 연구", 주조, Vol.16, p.297.
 (7) Eiji Kato, Yoshisada Ueda and Akihiro Matumoto, 1990, "Effect of various modification elements on fatigue and impact properties of Al-Si system casting alloys", 鑄物, Vol.62, p.283.
 (8) 한상봉, 김지훈, 류선봉, 박원욱, 예병준, 1997, "과공정 Al-Si 합금의 초정 Si 미세화에 미치는 냉각속도와 P 첨가량의 영향", 주조, Vol.17, p.347.
 (9) M. Johnsson, L. Arnborg, W.H.M. Alsem, P.C. van Wiggeren, and E.H. Klein Negelvoort, "Refinement of rapidly solidified hypereutectic Al-Si alloys by Sr and P additions", The 3rd International Conference on ALUMINUM ALLOYS, p.176.
 (10) Charles Vives, 1992, "Elaboration of semisolid alloys by means of new electromagnetic rheocasting processes", Metallurgical Transactions B, Vol.23, p.189.
 (11) Joon-Oyou Park, Kensuke Sassa and Shigeo Asai, 1995, "Improvement of wear-resistance in hyper-eutectic Al-Si alloy by surface concentration of primary silicon using electromagnetic force", J. Japan Inst. Metals, Vol.59, p.733.
 (12) Jie Wanqi, 1992, "Unidirectional solidification of Al-Si eutectic with the accelerated crucible rotation technique", Metallurgical Transactions A, Vol.23, p.1363.