
 논문

Al-Si 합금의 용탕 단조시 유동도에 미치는 압력, 과열 및 규소 함량의 영향

이학주[†] · 정기환* · 권해욱**

부산시 남구 용당동 535 동명대학교 조선공학과
*경북 고령군 다산면 송곡리 1434 대한특수금속(주)
**경북 경산시 대동 214-1 영남대학교 신소재공학부

Effects of Pressure, Superheat and Si Content on the Fluidity of Al-Si Alloy during Squeeze Casting

Hagju Lee[†], Ki-Hwan Jung*, and Hae-Wook Kwon**

Dept. of Naval Architecture, Tongmyoung University, 535 Yougdang-Dong, Nam-Gu, Busan, 608-711
*Daehan special metal co. LTd., 1434 Songgok-Ri, Dasan-Myun, Goryong-Gun, Gyeongbuk, 717-872
**School of Mat. Sci. & Eng., Yeungnam University, 214-1 Dae-Dong, Gyeongsan, Gyeongbuk, 712-749

Abstract

The effects of applied pressure, superheat and silicon content on the fluidity of Al-Si alloy during squeeze casting were investigated. The Fluidity of Al-7.0wt%Si alloy during squeeze casting was increased with applied pressure up to 60 MPa, meanwhile it rather decreased beyond that. Therefore, the optimum squeeze casting pressure was 60 MPa. The fluidity was increased with superheat up to 150°C. On the other hand, it rather decreased at the superheat of 200°C. The fluidity of Al-Si alloy during squeeze casting was decreased with silicon content in the range of 0.0~3.0 wt%, increased in the range of 3.0~13.0 wt%. The fluidity of Al-15.0 wt%Si alloy was lower than that of Al-13.0 wt%Si alloy.

Keywords: squeeze casting, fluidity, Al-casting alloy, Al-Si alloy.

(Received May 12, 2006 ; Accepted June 19, 2006)

1. 서 론

알루미늄은 비중이 2.7 g/cm³로 철강 재료에 비하여 비강도가 크므로 자동차, 항공기 및 선박 등의 운송 장비와 산업 기계 부품 등의 재료로 널리 사용되고 있다. 알루미늄 합금 주조품은 중력 주조법, 저압 주조법 및 다이캐스팅 등 다양한 방법으로 주조되고 있으며 주물의 형상, 크기, 품질 및 경제성 등을 고려하여 주조법이 선택된다. 이러한 주조법으로는 다양한 제품을 생산할 수 있으나 만족스러운 기계적 성질이나 품질을 얻을 수 없는 경우도 많다. 이와 같은 문제를 해결하기 위한 특수 주조 기술로는 급속응고 기술, 반응용 가공, 그리고 용탕 단조법 등이 있다. 용탕 단조법은 실제로 주조법과 단조법의 장점을 동시에 얻을 수 있는 공정이다. 용탕 단조법은 가압 응고법이라 불리기도 하며, 용탕을 하부 금형에 주입하고 유압 프레스를 이용하여 플런저(plunger)를 하강시켜 압력을 직접 용탕에 가하여 금형 공간으로 용탕을 공급하고 가압 하에서 응고가 일어나게 하는 방법이다[1].

급속 용탕의 유동도는 주형 또는 금형 공간을 응고가 일어

나기 전에 채울 수 있는 능력이다. 그리고 용탕 단조시 유동도는 건전한 얇은 제품을 얻는데 중요하다. 복잡한 용탕 단조품을 제조하기 위하여 용탕 단조용 합금의 유동도를 규명할 필요가 있다. 용탕 단조시 금형 내의 긴 채널을 따라 응고가 일어나기 전에 흘러간 거리를 측정하여 유동도를 비교할 수 있다[2].

주조시 유동도에 미치는 가장 큰 인자는 주입 온도 또는 과열이다. 용탕의 주입 온도가 높아 과열이 커지는 경우와 주형의 예열 온도가 높을 경우에는 응고시 냉각 속도가 느려져서 유동도가 증가한다. 주입 온도가 높아지면 유동도는 향상되지만 금형 수명의 단축, 수축의 위험성, 용탕중의 수소 용해량 증가에 따른 기포결함 및 용탕의 산화 등의 문제가 있으므로 유동도를 증가시키기 위하여 단순히 주입 온도를 올리는 것이 좋은 것만은 아니다.

알루미늄-규소 2원계 합금의 유동도에 영향을 미치는 다른 인자로는 규소의 함량 변화이다. 규소의 함량에 따라서 액상선-고상선 온도 범위가 달라지며 따라서 유동도도 달라질 것이다. 이 범위가 작을수록 유동도는 큰 것으로 알려져 있다[3]. 또한

[†]E-mail : hjlee@tu.ac.kr

규소는 응고시 응고 잠열이 다른 합금 원소보다 상당히 높기 때문에 응고를 어느 정도 느리게 하여 유동도를 향상시키는 것으로 알려져 있다. 그리고 용탕 단조시에는 압력이 유동도에 크게 영향을 미칠 것이며 압력이 클수록 유동도가 클 것으로 예상된다[4].

알루미늄-규소 합금은 상업적으로 중요한 주조뿐만 아니라 용탕 단조용 합금이다. 사형 또는 중력 주조시 알루미늄-규소 합금 용탕의 유동도에 관한 연구 결과는 많이 있으나 용탕 단조시 여러가지 공정 변수의 유동도에 미치는 영향에 관한 연구 결과 또는 자료는 없는 실정이다[5]. 따라서 본 연구에서는 알루미늄 합금 용탕의 용탕 단조시 나선형 채널(spiral channel) 금형을 이용하여 유동도에 미치는 공정 변수의 영향을 평가하였다. 특히 금형 온도를 일정하게 유지한 상태에서 용탕 단조할 때 알루미늄 합금 용탕의 유동도에 미치는 압력, 과열 및 규소 함량의 영향을 연구하였다.

2. 실험 방법

2.1 용탕 단조 장치 및 금형

알루미늄 용탕 단조시 유동도 시험을 하기 위하여 Fig. 1에서 보이는 바와 같은 40 ton 용량의 용탕 단조 장치를 설계하여 주문 제작하였다. 하강 속도는 260~2,250 mm/min 이며, 지름과 높이가 각각 50 및 110 mm인 플런저로 220 MPa까지 압력을 가할 수 있다. 플런저와 가압 실린더 및 상부 주형은 온도를 일정하게 유지시킬 수 있도록 내부 공간에 열매체유가 흐를 수 있게 하였다. 가압 실린더가 용탕 주입구 역할을 한다. 유동도를 측정하기 위한 하부 금형은 단면의 밀변 및 높이가 각각 6 mm인 채널이 나선형으로 놓이도록 설계 및 제작하였으며 50 mm 간격으로 방출핀(ejector pin)이 설치되어 있다. 유동도 시험용 나선형 채널 금형의 모양은 Fig. 2에서 보이는 바와 같다. 열매체를 순환시켜 금형의 온도를 일정하게 유지하기 위해서 금형 온도 조절 장치를 부착시켰으며 이 조절 장치로 금형 온도를 270°C까지 조절할 수 있다.

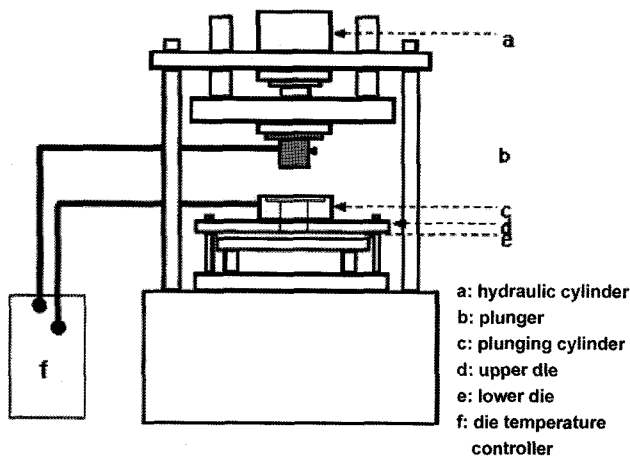


Fig. 1. Squeeze casting apparatus.

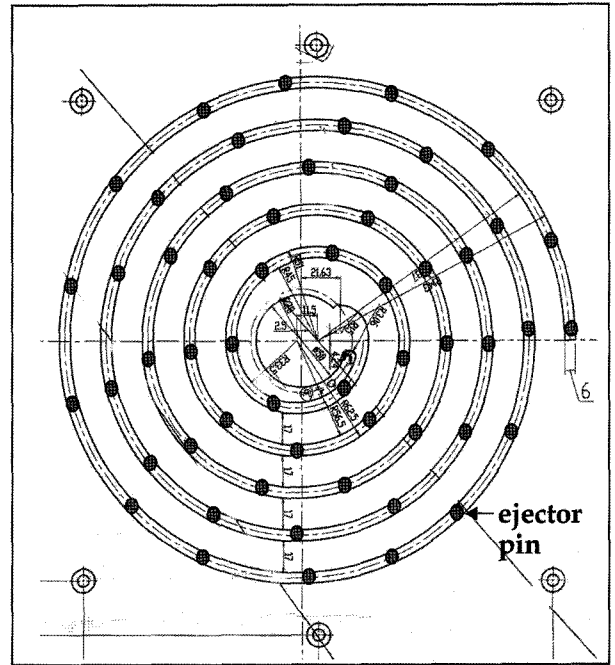


Fig. 2. Fluidity test mold for squeeze casting.

2.2 열분석 시험

공업적으로 순수한 알루미늄의 용점과 알루미늄-규소 합금의 액상선 온도 및 응고 범위를 측정하기 위하여 공업적으로 순수한 알루미늄, 1.0~15.0 wt%Si의 규소 함량 범위에서 2.0 wt% 간격의 조성 그리고 10.0 wt%Si 조성의 각 합금의 열분석 시험을 하였다. 주철 용탕 열분석 시험용 셸 컵 받침대를 K-형태의 열전대 선으로 온도 기록용 소프트웨어가 내장된 컴퓨터에 연결하여 구성된 열분석 장치를 이용하여 셸 컵을 사용하여 열분석 시험하였다. 열분석 시험 결과 얻은 대표적인 Al-7.0 wt%Si 조성의 합금 용탕의 액상으로부터의 냉각 곡선은 Fig. 3에 보이는 바와 같다. 열분석 시험을 통하여 각 조성별로 액상선 온도를 측정된 결과를 근거로 주입 온도를 결정하였다.

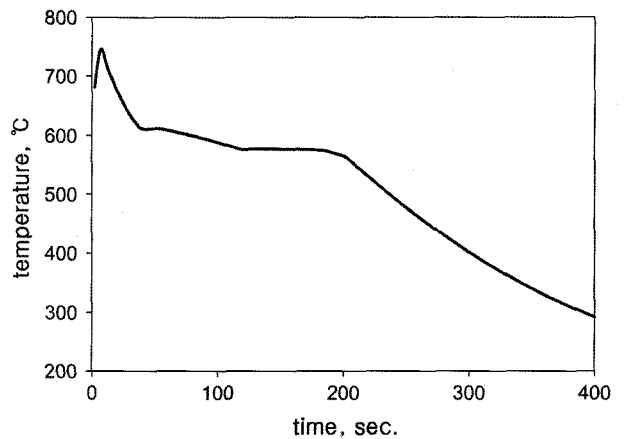


Fig. 3. Cooling curve of Al-7.0wt%Si alloy as a result of thermal analysis.

2.3 용해 및 용탕 단조

공업적으로 순수한 알루미늄과 알루미늄-규소 합금을 원하는 조성의 비율에 따라 준비하여 3.5 kW 용량의 박스로를 이용하여 용해하였다. 각 조건 별로 500 g의 장입물을 내경과 깊이가 각각 85 및 105 mm인 흑연 도가니에 장입하고, 박스로의 온도를 과열 온도에 따라 689~760°C의 범위에서 원하는 온도로 승온시킨 후 흑연 도가니를 박스로에 넣어 1 시간동안 유지하여 용해하였다. 장입물로는 공업적으로 순수한 알루미늄과 Al-15.0 wt%Si 조성의 모합금을 사용하였다. 사용한 공업적으로 순수한 알루미늄 및 Al-15.0 wt%Si 조성의 모합금 인코트의 화학 조성은 Table 1에서 보이는 바와 같다.

먼저 금형 온도 조절 장치를 가동하여 플런저와 하부 금형에 열매체유를 순환시켜 금형 온도를 200°C로 유지시켰다. 장입물이 용해된 도가니를 박스로에서 방출시켜 용탕의 온도를 측정하였다. 원하는 온도가 된 용탕을 금형에 주입하고 즉시 용탕 단조 장치를 가동하여 주입구에서 170 mm 높이에 위치한 플런저를 하강시켜 용탕에 압력을 가하였다. 이때 2,250 mm/min의 속도로 하강하는 플런저는 용탕과 접촉하는 순간부터 260 mm/min 속도로 하강하며, 압력을 가하고 30초동안 유지시킨 후 플런저를 상승시키고 금형을 분리하여 방출 핀으로 시편을 방출시켰다.

2.4 유동도 시험

2.4.1 압력의 영향

용탕 단조시 유동도에 미치는 압력의 영향을 시험하기 위하여 Al-7.0 wt%Si 조성의 합금을 사용하였다. 장입물을 박스로에서 용해한 후 열분석 시험을 통하여 얻은 Al-7.0 wt%Si 합금의 액상선 온도인 612°C보다 100°C 더 높은 712°C에서 용탕을 주입하였다. 0~120 MPa 범위에서 30 MPa 간격으로 압력을 변화시켜 용탕 단조하였다. 각 조건별로 5회 시험하여 최소 및 최대치를 제외한 3회 값의 유동도 스파이럴 길이(fluidity spiral length)의 평균값을 얻었다.

2.4.2 과열의 영향

용탕 단조시 유동도에 미치는 과열, 즉, 주입 온도와 액상선 온도의 차이의 영향을 조사하기 위하여 Al-7.0 wt%Si 조성의 합금을 사용하였다. 준비된 장입물을 박스로에서 용해한 후 과열 온도를 50~200°C 범위에서 50°C 간격으로 변화시켜 용탕 단조하였다. 각 과열 온도 조건별로 5회 시험하여 최소 및 최대치를 제외한 3회 값을 평균하여 유동도 스파이럴 길이를 얻었다.

2.4.3 규소 함량의 영향

알루미늄 합금의 용탕 단조시 규소 함량의 영향을 1.0~15.0 wt% 범위에서 2.0 wt% 간격으로 변화시켜 시험하였다. 그리고 공업적으로 순수한 알루미늄과 Al-15.0%Si 조성의 합금의 경우에도 시험하였다. 각 조건별로 장입물을 계산하여 흑

연 도가니에 장입하고 박스로에서 용해하였다. 과열 온도 100°C에서 주입하여 60 MPa의 압력을 가하여 용탕 단조하였다. 각 조성별로 5회 시험하여 최소 및 최대치를 제외한 3회의 유동도 스파이럴 길이 값의 평균값을 얻었다.

2.5 화학적 성분 분석 및 조직 관찰

용탕 단조하여 얻은 유동도 시험 시편의 압탕의 중앙 부분을 횡단면으로 절단하여 화학 성분 분석용 시편을 얻어 밀면을 200번 연마지로 연마한 후 방출 스펙트럼 분석 장치로 화학적 성분을 분석하였다. 각 인자의 유동도에 미치는 영향의 원인을 규명하기 위하여 미세 조직을 관찰하였다. 용탕 단조하여 유동도 시험 후 얻은 용탕 단조품의 가압 실린더 부분의 가운데 높이를 절단하여 횡단면의 중앙부에서 미세 조직 관찰용 시편을 얻었다. 압력, 과열 및 조성 변화의 각각의 유동도 시험 조건 별로 시편을 얻어 보통의 방법으로 조연마하고, 1 μm 등급까지의 다이아몬드 페이스트로 세연마하였고, 아세톤과 에탄올로 세척한 후 5% 불화수소산으로 부식시켰으며 100배의 배율에서 광학 현미경으로 관찰하였다. 화상 분석 장치를 이용하여 용탕 단조시 압력, 과열 온도 및 조성 변화 따른 초정-α상과 공정 조직의 부피분율을 측정하였다. 또한 아공정 및 과공정 합금의 응고 거동의 차이가 유동도에 미치는 영향을 확인하기 위하여 규소 함량 7.0, 13.0 및 15.0 wt% 조성의 합금의 유동도 시험 후 얻은 유동도 스파이럴 끝 부분으로부터 시편을 얻어 동일한 방법으로 조연마 및 세연마하여 광학 현미경으로 관찰하였다.

용탕 단조시 유동도에 미치는 압력의 영향의 원인을 규명하기 위하여 거시 조직을 관찰하였다. 0~120 MPa 범위에서 30 MPa 간격으로 압력을 변화시켜 유동도 시험을 한 Al-7.0 wt%Si 조성의 용탕 단조품의 가압 실린더 부분의 단면의 가운데를 절단하여 얻은 종단면의 거시 조직을 관찰하였다. 압력 변화에 따른 유동도 시험 조건별로 시편을 얻어 보통의 방법으로 1500번까지 조연마하고, 아세톤과 에탄올로 세척한 후 Tucker 부식액으로 부식시켜 거시 조직을 관찰하였다[6].

3. 실험 결과 및 고찰

3.1 열분석 시험 및 화학적 성분 분석

열분석 시험 결과 얻은 액상선 온도는 Table 2에서 보이는 바와 같다. 이를 근거로 각 합금의 주입 온도를 결정하였다. 각 조건별 용탕 단조 시편의 화학 조성 분석 결과는 Table 3에서 보이는 바와 같다. 모든 경우에 규소의 함량은 허용 범위를 벗어나지 않은 것으로 나타났다.

3.2 유동도에 미치는 용탕 단조 압력의 영향

Al-7.0wt%Si 합금의 용탕 단조시 유동도에 미치는 압력의

Table 1. Chemical composition of charging material

element	Al	Si	Fe	Ni	Ti	Cr	remark
pure Al	99.70	0.060	0.13	-	-	-	commercial pure
Al-15.0%Si	84.64	14.93	0.20	0.009	0.008	0.004	

Table 2. Liquidus temperature of Al-Si alloy.

Si content (wt%)	liquidus temperature (°C)	remark
0.0	660	melting temp.
1.0	653	
3.0	639	
5.0	626	
7.0	612	
9.0	599	
10.0	589	
11.0	582	
13.0	578	
15.0	588	

Table 3. Chemical analyses

specimen	element(wt%)					remark
	Si	Fe	Cu	Mg	Mn	
applied pressure (MPa)	0	7.10	0.15	0.009	0.04	0.004
	30	7.09	0.15	0.009	0.04	0.003
	60	7.09	0.13	0.007	0.04	0.002
	90	7.04	0.14	0.009	0.03	0.002
	120	7.14	0.13	0.008	0.03	0.001
super heat (°C)	50	7.05	0.13	0.007	0.03	0.001
	100	7.07	0.14	0.008	0.03	0.001
	150	7.06	0.14	0.007	0.03	0.002
	200	7.06	0.14	0.006	0.04	0.002
Si content (wt%)	0.0	0.09	0.12	0.008	0.04	0.002
	1.0	1.13	0.12	0.009	0.03	0.002
	3.0	3.14	0.12	0.008	0.03	0.001
	5.0	5.06	0.13	0.008	0.03	0.002
	7.0	7.14	0.13	0.009	0.03	0.002
	9.0	9.14	0.13	0.007	0.03	0.001
	10.0	10.63	0.14	0.008	0.03	0.002
	11.0	11.48	0.16	0.009	0.03	0.003
	13.0	13.81	0.16	0.008	0.03	0.002
	15.0	15.08	0.17	0.009	0.03	0.003

영향에 관한 실험 결과는 Fig. 4에서 보이는 바와 같다. 용탕을 주입하고 전혀 압력을 가하지 않은 중력 주조한 경우로부터 용탕 단조 압력이 60 MPa로 증가함에 따라 유동도, 유동도 스파이럴 길이는, 점차 증가하였다. 그러나 용탕 단조 압력이 90 및 120 MPa로 증가함에 따라 유동도는 오히려 감소하였다. 특히 용탕 단조 압력이 120 MPa로 높은 경우에는 용탕 가압 실린더에 주입하고 용탕 단조 장치를 가동시켜 플런저가 하강하여 압력을 가할 때 순간적으로 용탕이 넘쳐 흘러서 유동도 스파이럴 길이 값이 매우 낮게 나타났다.

이와 같은 유동도에 미치는 용탕 단조 압력의 영향에 관한 실험 결과의 원인을 규명하기 위하여 유동시 시험용 용탕 단조품의 가압 실린더 부분의 가운데 높이의 횡단면을 절단하여 가운데에서 미세 조직 관찰용 시편을 얻어 광학 현미경으로 관찰하였으며 그 결과는 Fig. 5에서 보이는 바와 같다. 또한

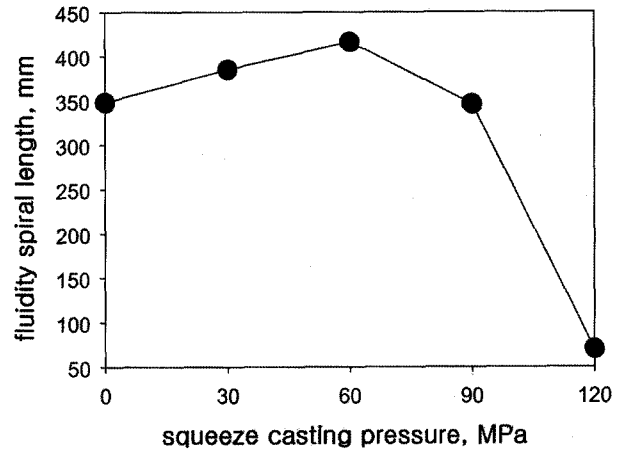


Fig. 4. Effect of applied pressure on the fluidity during squeeze casting of Al-7.0wt%Si alloy.

화상 분석 장치를 이용하여 초정 α-덴드라이트와 공정 조직의 부피 분율을 측정하였으며 그 결과는 Table 4에서 보이는 바와 같다. 알루미늄-규소 합금의 용탕 단조시 가한 압력이 증가함에 따라 초정 α-덴드라이트의 부피 분율이 증가하는 것을 알 수 있다. 그리고 용탕 단조시 응고 조직에 미치는 압력의 영향을 확인하기 위하여 유동도 시험용 용탕 단조품의 가압 실린더 부분의 단면의 가운데를 절단하여 얻은 종단면의 거시 조직을 관찰하였으며 그 결과는 Fig. 6에서 보이는 바와 같다. 유동도 시험용 용탕 단조품의 가압 실린더 부분의 바깥 부분은 주상정이 형성하였고 내부에는 등축정이 형성하였으나 가한 압력이 0 MPa인 금형 주조한 경우에는 비교적 조대한 결정립이 형성하였으며 용탕 단조 압력이 증가함에 따라 결정립이 점점 미세화되었다. 압력이 증가함에 따라 냉각 속도가 증가하여 초정 α상의 핵생성과 성장이 촉진되고, Fig. 7에서 보이는 바와 같이, 공정이 과냉되어 고액 공존 구간(mushy zone) 증가하여 공정점의 규소 함량이 증가하여 초정 α상의 부피 분율이 증가하고 결정립이 미세화된 것으로 생각된다.

이와 같은 사실을 종합적으로 검토하면 용탕 단조 압력이 증가함에 따라 용탕을 좁은 채널로 밀어 넣어 유동도를 증가시키는 효과와 압력의 증가로 인한 고액 공존 구간의 증가에 의한 유동도 감소 효과의 상대적인 경쟁에 의하여 유동도가 달라지는 것으로 생각된다. 즉, 0~60 MPa의 압력 범위에서는 용탕 단조 압력이 증가함에 따라 전자가 후자보다 더 커서 유동도가 증가하였으나 그 이상으로 용탕 단조 압력이 증가하면 후자가 오히려 전자보다 더 커져서 유동도가 감소한 것으로 생각된다.

3.3 유동도에 미치는 과열의 영향

Al-7.0wt% 합금의 용탕 단조시 유동도에 미치는 과열의 영향에 관한 실험 결과는 Fig. 8에서 보이는 바와 같다. 150°C 까지 과열이 증가함에 따라 유동도가 증가하였으나 150°C에서 200°C로 과열이 증가함에 따라 유동도는 오히려 감소하였다. 용탕 단조의 방법으로 나선형 채널 금형을 이용하여 유동도 시험을 하는 동안, 좁은 채널을 통하여 용탕이 흐를 때 용탕

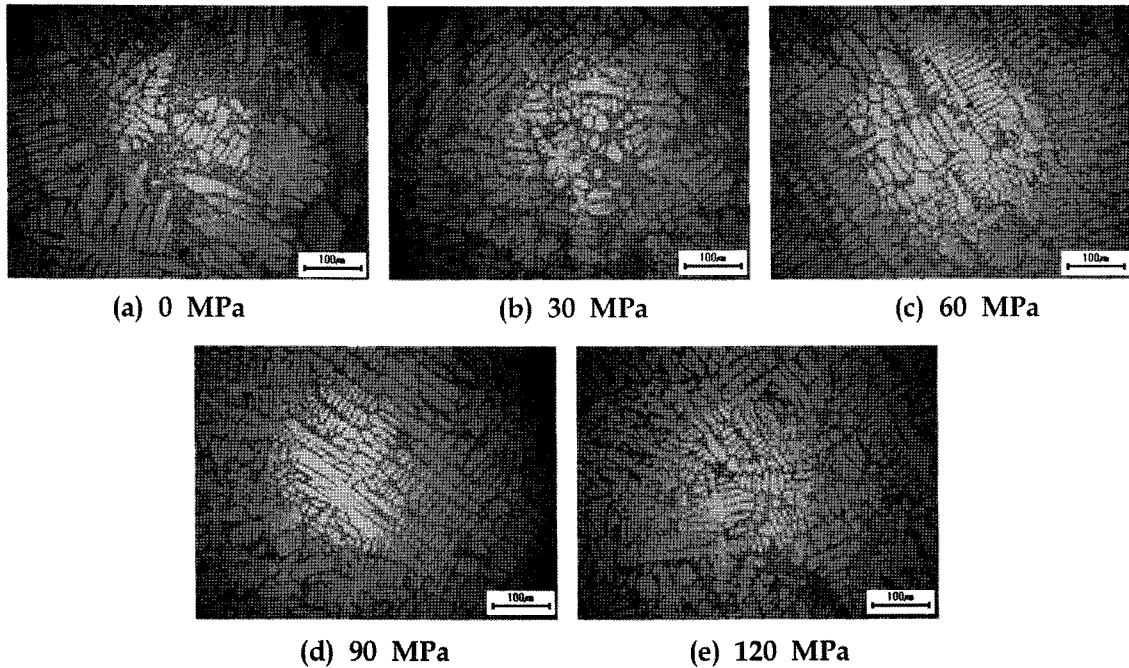


Fig. 5. Variation of microstructure of squeeze casted Al-7.0wt%Si alloy with the applied pressure.

Table 4. Variation of microstructure of squeeze casted Al-7.0wt%Si alloy with the applied pressure

pressure (MPa)	0	30	60	90	120	remark
% primary α	73.4	74.4	76.9	78.4	79.4	
% eutectic	26.7	25.6	23.1	21.6	20.6	

의 끝 부분의 온도가 가장 낮을 것이다. 이 끝 부분에서 미세한 결정이 핵생성하며 이렇게 핵생성한 대부분의 미세한 결정은 흐르는 용탕을 따라 이동된다. 과열이 없는 경우에는 이와 같은 미세한 결정은 즉시 핵생성할 것이다. 그러나 금속의 과열이 증가할수록 이와 같은 핵생성은 지연될 것이고 따라서 유동도는 증가할 것이다. 유동도는 주입 온도가 증가함에 따라 비례하여 증가한다는 사실을 여러 연구자들이 보고한 바 있다 [7-9]. 그러나 과열이 200°C로 높은 경우에는 용탕의 온도가

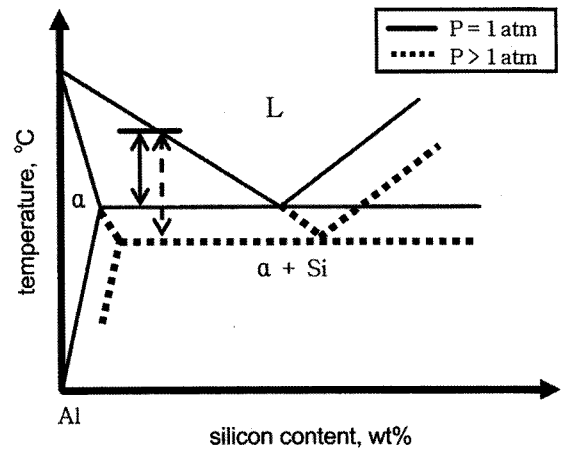


Fig. 7. Change of the liquidus-solidus temperature range with the applied pressure.

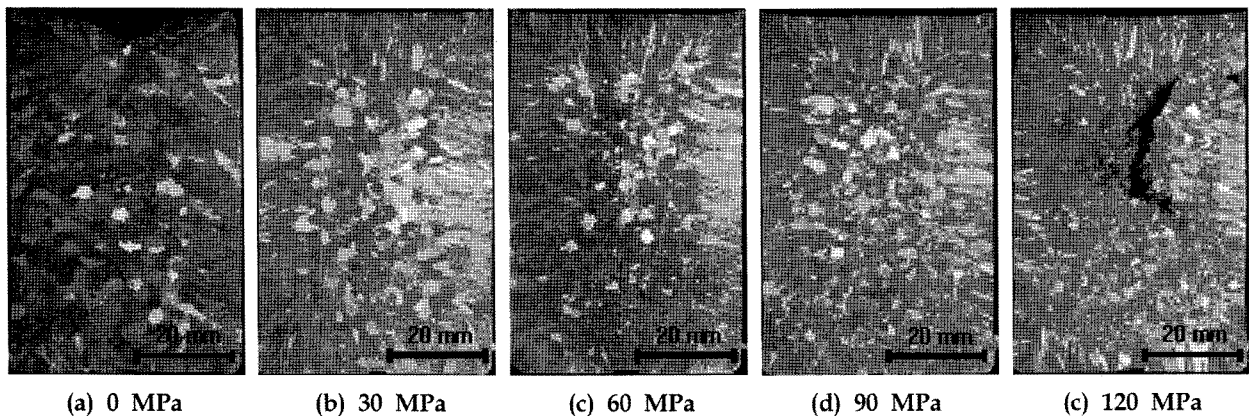


Fig. 6. Variation of macrostructure of squeeze casted Al-7.0wt%Si alloy with the applied pressure.

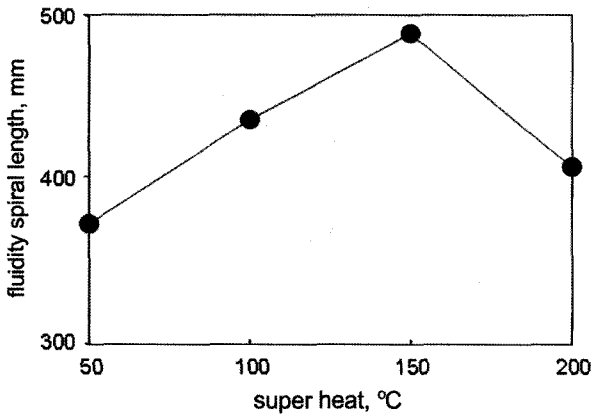


Fig. 8. Effect of superheat on the fluidity during squeeze casting of Al-7.0wt%Si alloy.

과도하게 높아서 용탕을 금형에 주입하기 전부터 산화가 매우 심하게 일어나 드로스가 많이 형성되었을 것이며 이 드로스가 용탕의 흐름을 방해하였을 것이므로 유동도가 오히려 감소하였을 것으로 생각된다.

과열 온도가 150°C인 경우에 유동도가 제일 큰 것으로 나타났으나 액상선 온도보다 150°C 더 높은 온도로 용탕의 온도를 증가시킬 경우 산화가 과도하게 일어나고 박스로의 승온 시간이 너무 소요되는 등 실험상 여러 가지 문제가 발생하였다. 따라서 규소 함량 별로 액상선 온도보다 100°C 더 높은 온도를 주입 온도로 하였다.

3.4 유동도에 미치는 규소 함량의 영향

알루미늄 합금의 용탕 단조시 유동도에 미치는 규소 함량의 영향을 시험하였으며, 그 결과는 Fig. 9에서 보이는 바와 같다. 규소의 함량 3.0 wt%까지는 유동도가 감소하였으나 그 이상으로 규소 함량이 13.0 wt%까지 증가함에 따라 유동도는 꾸준히 증가하였으며, 15.0 wt%에서는 오히려 감소하였다.

각 조성별로 유동도 시험용 용탕 단조품의 가압 실린더 부분의 가운데 높이의 횡단면의 가운데 부분의 미세 조직을 관찰하였다. 규소 함량 3.0~11.0 wt% 범위의 아공정 합금에 대

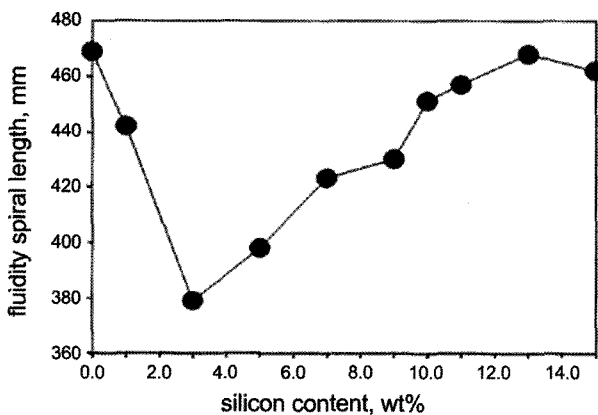


Fig. 9. Effect of Si content on the fluidity during squeeze casting of Al-Si alloy.

Table 5. Variation of the volume fraction of primary and liquidus-solidus temperature range of Al-Si alloy with silicon content.

Si content (wt%)	volume fraction of α(%)	liquidus-solidus temp. range(°C)	remark
0.0	100.0	-	
1.0	100.0	3.0	
3.0	83.6	64.0	
5.0	81.6	50.0	
7.0	76.9	36.0	
9.0	72.9	21.0	
10.0	70.7	12.0	
11.0	70.1	10.0	
13.0		2.0	
15.0		11.0	

하여 화상 분석 장치를 이용하여 초정 α-덴드라이트의 부피 분율을 측정하였으며 그 결과는 Table 5에서 보이는 바와 같다. 공업적으로 순수한 알루미늄과 Al-1.0 wt%Si 합금의 경우에는 공정 조직이 존재하지 않고 α상만으로 이루어져 있으나 3.0 wt% 이상의 규소를 함유하고 있는 합금의 경우에는 응고 조직은 α-덴드라이트와 공정 조직으로 이루어지며 규소 함량이 증가할수록 초정 α-덴드라이트의 부피 분율은 감소한다. 각 합금의 조성별로 열분석 시험 결과로부터 응고 범위 즉, 액상선 온도와 고상선 온도의 차이를 얻어 비교하였으며 그 결과는 Table 5에서 보이는 바와 같다. 규소의 함량이 3.0 wt%까지는 응고 범위가 증가하여 규소 함량이 3.0 wt%일 때 최대였으며 그 이상으로 규소의 함량이 증가함에 따라 아공정 조성의 합금의 응고 범위는 감소하였다. 따라서 공업적으로 순수한 알루미늄에 비하여 Al-1.0 wt%Si 조성의 응고 범위가 더 커서 이 조성의 합금의 유동도가 더 나빴으며 Al-3.0 wt%Si 조성의 합금의 경우 초정 α-덴드라이트의 부피 분율이 제일 높고 응고 범위가 제일 넓어서 유동도가 가장 나빴다. 그리고 그 이상으로 아공정 합금의 규소 함량이 증가함에 따라 초정 α-덴드라이트의 부피 분율과 응고 범위가 감소하여 유동도는 증가한 것으로 생각된다.

순금속의 경우, 채널의 벽면에서부터 응고가 주상정 형태로 성장하여 최종적으로는 중심부에서 용탕 공급 통로가 막혀 유동이 중지된다. 이 경우, 응고 도중에서도 채널의 중심부로는 계속적인 유동이 될 수 있으므로 높은 유동도를 유지할 수 있다. 합금의 경우에는 채널 벽면으로부터 생성된 결정립의 성장과 동시에 유동 금속의 끝 부분에서도 미세한 결정립이 형성된다. 응고 선단부의 미세한 결정립은, 채널 벽면으로부터 핵생성 및 성장한 덴드라이트가 용융 금속의 유동시 분리 및 이동되어 응고 선단부에서 핵생성 사이트로 작용하여 형성한다. 그러므로 유동도 측정시 채널의 중심부가 막히지 않아도 선단부에서 먼저 응고되어 유동이 중지되며, 이 경우 남은 액상 금속은 미세한 결정립으로 응고되고, 팁 부분에 파이프(pipe)를 남기게 된다. 이러한 합금의 경우, 고체, 액체 계면은 순금속과는 달리 머쉬 존(mushy zone)이 형성되며 이러한 덴드라이트들은 유동도를 감소시킨다[10].

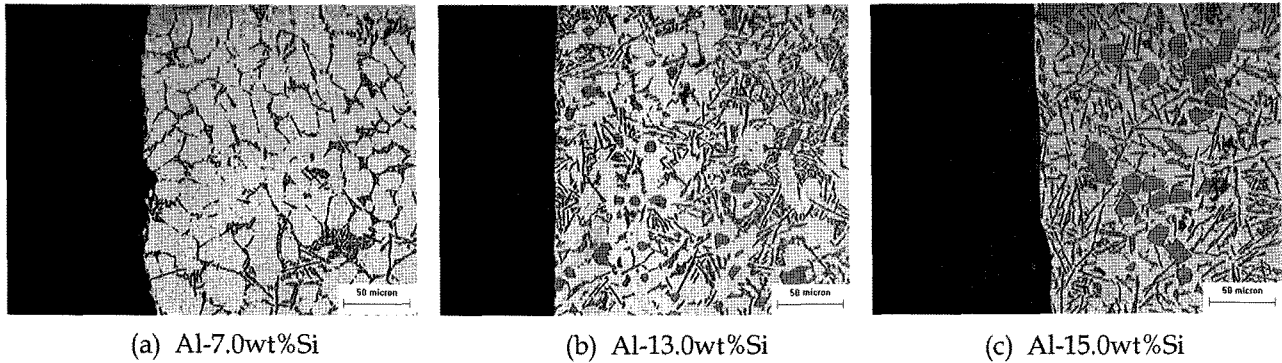


Fig. 10. Microstructure obtained from the tip of fluidity spiral.

과공정 조성의 합금은 아공정 조성의 합금과 그 응고 과정이 다르다. 먼저 초정상은 아공정 합금의 경우와 달리 초정 규소이며 그 모양은 입자 형태이다. 과공정 조성의 경우 초정 규소의 응고 잠열이 크고 초정상이 덴드라이트 형태가 아니기 때문에 초정 규소가 상대적으로 용탕의 흐름을 상대적으로 방해하는 효과가 적어서 유동도가 증가할 것이다. 그러나 Al-15.0 wt%Si 조성으로 규소의 함량이 증가하면 응고가 일어나는 동안 형성하는 초정 규소상 입자의 수와 크기가 증가하여 용탕의 흐름을 방해할 것이다. 이 효과가 초정 규소가 형성하는 동안 방출되는 용융 잠열에 의한 효과를 상쇄시켜 Al-13.0 wt%Si 합금의 유동도가 제일 컸을 것으로 생각된다. 아공정 및 과공정 합금의 응고 거동의 차이와 과공정 합금의 규소 함량의 차이에 의한 유동도의 차이의 근거를 확인하기 위하여 규소 함량 7.0, 13.0 및 15.0 wt% 조성의 합금을 유동도 시험하여 얻은 유동도 스파이럴의 끝 부분의 종단면의 미세 조직을 관찰하였다. 그 결과는 Fig. 10에서 보이는 바와 같으며 그와 같은 사실을 확인할 수 있었다.

4. 결 론

알루미늄-규소 합금의 용탕 단조시 유동도에 미치는 압력, 과열 및 규소 함량의 영향에 관한 연구를 하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) Al-7.0wt%Si 합금의 용탕 단조시 60 MPa까지 압력이 증가함에 따라 유동도는 증가하였으나 그 이상의 압력에서는 오히려 감소하였다. 따라서 최적 압력은 60 MPa인 것으로 나타났다.

2) Al-7.0wt%Si 합금의 용탕 단조시 150°C까지 과열이 증가함에 따라 유동도가 증가하였으나 과열이 200°C로 증가하면 오히려 감소하였다. 과열 온도 150°C의 경우 용탕의 산화로 드로스 형성이 심한 문제점으로 인하여 최적 과열 온도는

100°C가 적합하였다.

3) 규소 함량 0.0~3.0 wt% 범위에서는 규소 함량이 증가함에 따라 용탕 단조시 유동도가 감소하였으나 3.0~13.0 wt% 범위에서는 증가하였으며 Al-15.0 wt%Si 합금의 유동도는 Al-13.0 wt%Si 합금보다 낮았다. 아공정 합금의 경우 응고 범위가 작을수록 컸으며 초정 규소로 인하여 과공정 합금인 Al-13.0 wt%합금의 유동도가 최대인 것으로 나타났다.

감사의 글

본 연구의 일부는 산업자원부의 지역혁신 인력양성 사업의 연구결과로 수행되었으며 이에 감사드립니다.

참 고 문 헌

- [1] Y. Nishida and M. Matsubara : Z. Metallk. 71 (1989) 189.
- [2] B. Chalmers : "principles of Solidification", R. E. Krieger Pub. Co., (1977) 234-235.
- [3] R. W. Heine, C. R. Loper, Jr. and P. C. Rodenthal : "Principles of Metal Casting", 2nd. ed. McGraw-Hill, (1967) 200-203.
- [4] E. N. Pan and J. F. Hu : Trans. AFS, 98 (1990) 609-613.
- [5] J. M. Kim : "Effect of Solidification Mechanism on the Fluidity of Al-Si Casting alloys", M. S. Thesis, Univ. of WI-Madison, (1993).
- [6] H. Schumann : "Metallographies", 2nd ed., Hak Mun Pul. Co, (1993) 567-568.
- [7] M. C. Flemings, E. F. Niyama and H. F. Taylor : Trans. AFS, 69 (1961) 625-635.
- [8] C. J. Cooksey, V. Kodicek and J. Wilcock : Brit. Foundryman, 52 (1959) 381.
- [9] F. R. Mollard, M. C. Flemings and H. F. Niyama : Trans. AFS, 95 (1987) 647-652.
- [10] S. Feliu, M. C. Flemings and H. F. Taylor : Brit. Foundryman, 53 (1960) 413.