

알루미늄 발포소재의 성형 공정 인자가 기공제어에 미치는 영향

전용필*(부산대 대학원 정밀기계공학과), 강충길(부산대 기계공학부)

Effects of Process Parameters on Cell Control of Aluminum Foam Material

Y. P. Jeon(Mech. and Precision Eng. Dept., PNU), C. G. Kang(Mech. Eng. Dept., PNU)

ABSTRACT

Aluminium foam material is a highly porous material having complicated cellular structure defined by randomly distributed air pores in metallic matrix. this structure gives the aluminium a set of properties which cannot be achieved by any of conventional treatments. The properties of aluminium foam material significantly depend on its porosity, so that a desired profile of properties can be tailored by changing the foam density. Melting method is the one of foaming processes, which the production has long been considered difficult to realize because of such problems as the low foamability of molten metal, the varying size of cellular structures, solidification shrinkage and so on. These problems, however, have gradually been solved by researchers and some manufacturers are now producing foamed aluminum by their own methods. Most of all, the parameters of solving problem in electric furnace were stirring temperature, stirring velocity, foaming temperature, and so on. But it has not considered about those in induction heating, foaming velocity and foaming temperature in semi-solid state yet. Therefore, this paper presents the effects on these parameter to control cell size, quantity and distribution.

Key Words : Aluminum foam (알루미늄 발포재), Stirring temperature (교반 온도), Stirring Velocity (교반 속도), Foaming velocity (발포속도), Foaming temperature(발포 온도), cell control(기공 제어)

1. 서론

최근, 다기능성 소재에 대한 연구가 미국, EU, 및 일본 등에서 활발히 전개되고 있다. 이를 구현하기 위한 소재로 알루미늄 발포재(Foam)를 들 수 있는데 이는 매우 낮은 밀도를 가지면서도 상대적으로 높은 비강성을 가지고, 소음과 진동의 흡수능이 우수하며, 재활용이 용이하다는 장점을 가지고 있기 때문에 원소재 개발, 공정변수에 따른 발포양상 평가 및 D/B 구축, 상용화 등 포괄적인 면에서 연구가 진행되고 있다.

특히, 주조법을 이용한 제조는 분말법에 비해 대형 소재를 적은 비용으로 생산할 수 있으며, 연속 제조까지 용이하다는 장점이 있기 때문에 원소재의 사용 절감, 경량화 가능, 환경오염 저감, 그리고, 가격 경쟁력이 있는 제품 생산을 가능하게 해준다. 주조법을 이용한 알루미늄 발포재의 제조 공정에

서 Song[1] 등은 제조 공정에서 교반시간과 발포 온도의 유지 시간에 따른 발포 양상에 대한 내용을 연구하였다. Ma[2] 등은 발포공정에서 기공 구조의 제어에 대한 내용은 연구하였다. Aoyagi[3] 등은 반응 용 상태에서의 교반을 통한 제조 공정 및 미세조직에 대한 연구를 수행하였다.

이와 같은 연구에서 보면 알 수 있듯이, 유도가 열을 통한 온도 제어 및 Ca 또는 SiCp 등의 점증제의 첨가 없이 반응 용 상태에서 온도 제어만으로 점성을 제어하여 복합 교반을 통한 발포재의 제조에 관한 사례는 아직 보고 되지 않고 있다.

따라서, 본 연구에서는 용탕의 점성 및 유동성 확보를 위해서 Si의 함유율이 10%정도인 A380을 실험소재로 사용하였다. 발포재의 분산을 위해 교반은 Lee[4]가 제시한 복합교반법을 채택하였다. 복합교반법에 의하여 발포재를 제조하는 실험장치와 용탕온도, 임펠러의 회전수, 발포온도 그리고 발포

속도 등에 따른 제조 조건 및 제조 방법을 제시하였다.

2. 발포재의 제조

2.1 실험 장치 및 실험 방법

본 연구를 위한 실험장치에 대한 개략도를 Fig.1에서 나타내었다. 이 실험 장치는 교반기가 부착되어 있는 프레임, 도가니가 있는 유도로, 소재의 가열을 위한 20kW 고주파 유도가열기로 나누어져 있다. 프레임을 통해서 임펠러의 높낮이, 회전수, 그리고 회전방향을 조절할 수 있으며, 고주파 유도가열기를 통해서 소재의 가열 온도 및 가열 속도를 제어할 수 있다. 임펠러의 교반 높이는 Oak[5]이 제안한 것처럼 용탕의 전 영역에 걸친 발포를 위해서 도가니 바닥에 최대한 접근시켰다. 도가니는 발포재를 신속하게 제조하고 냉각하기 위해 재질이 스테인레스이고, 내경 63mm, 깊이 140mm인 것으로 하였다.

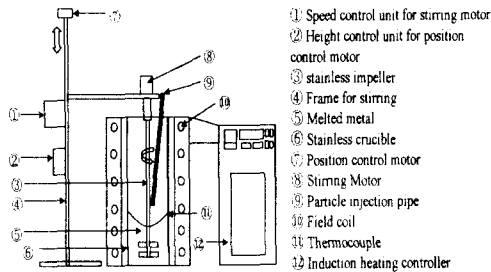


Fig.1 Schematic diagram of fabrication equipment for aluminium foam material

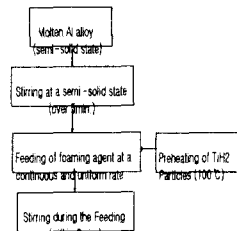


Fig.2 Flow chart of experimental process of melt-stirring

Fig.2는 발포재의 제조를 위한 공정순서도이다. 실험순서를 살펴보면 다음과 같다.

우선 180~400g 정도의 알루미늄 합금을 액상선 온도(595°C) 이상으로 가열하여 녹인 후에, 설정 온

도에 맞춘 후, 교반기를 지지재가 녹아있는 도가니 바닥 근처까지 이동시켰다. 여기서, 그 높이는 10mm로 하였다. 이동시킨 임펠러로 용탕의 상태가 균일하도록 5분간 강제교반을 실시하였다. 예열된 TiH_2 를 임펠러 중심에 최대한 접근시켜 지지재 중량의 1.0%를 투입하였다. 이를 정량 투입 시간을 포함하여 2분정도 교반을 한 후에 교반 시스템을 도가니로부터 제거하였다. 발포온도를 제어할 제외한 모든 공정에서 30초가 지난 후에 도가니를 유도로에서 꺼내어 흐르는 물에 소재가 닿지 않도록 주의하면서 쿨링을 실시하였다.

이와같은 성형공정에서 Table.1에 나타낸 성형 공정 변수에 따른 발포양상에 대해 조사하였다.

Table 1 Stirring and foaming conditions for fabrication of aluminum foam material

Process	Parameter	Temp. (°C)	RPM (rpm)	Foaming velocity (°C/min)	Foaming temp.(°C)
		T	V_s	V_f	T_f
Stirring	Temp.	585~680	1700	20	Temp.
	RPM	595	700~1700	20	595
Foaming	Foaming velocity	595	1350	20~50	595
	Foaming temp.	595	1350	20	595~680

3. 실험 결과 및 고찰

3.1 용탕 온도



(a) 585°C (b) 595°C (c) 615°C (d) 680°C
($V_s = 1700rpm$, $V_f = 20°C/min$, $T_f = T$)

Fig.3 Foamed aluminums at various processing temperatures

Fig.3은 용탕온도의 변화에 따른 발포도의 양상을 나타낸 것이다. Fig.3에서 용탕의 온도가 증가함에 따라서 기공의 크기가 증가함을 알 수 있는데, 그 이유는 지지재의 온도 증가시 점도의 감소로 인해 용탕 내부에서 발생하는 기공의 표면 장력이 감소하기 때문인 것으로 사료된다.

발포량은 Fig.3(b)의 조건에서 최대였고 기공이 가장 고른분포를 보여주고 있다. 그 이유는 Fig.3(b)는 Fig.3(a)에 비해서 용탕이 상대적으로 적은 점성을 가져 기공의 성장이 잘 일어났고, Fig.3(c)~(d)에 비해 점성이 높아 용탕의 교반시, 합체현상(coalescence) 및 자유표면을 통한 H₂ 기체의 유출이 적었기 때문이라고 사료된다. 용탕 온도의 변화에 따른 발포 실험을 통해서 발포성형시 용탕에 적절한 점성이 필요함을 알 수 있었다. Fig.3(a)~(d)의 발포량은 Table.2와 같다.

Table.2 Foaming results at various temperature

Weight of A380 (g)	Height (H ₀ ,mm)	Foamed height (H,mm)	H/H ₀	Porosity (%)
284	29	87	3.0	66
251	26	95	3.7	73
229	24	80	3.4	70
175	19	69	3.8	74

3.2 회전수



(a)700rpm (b) 1000rpm (c) 1350rpm (d) 1700rpm
(T = 595°C, V_r = 20°C/min, T_r = T)

Fig.4 Foamed aluminums at various velocity of Impeller

Fig.4는 교반기의 회전수 변화에 따른 소재의 발포양상을 나타내었다. 여기서, 회전수가 1350rpm인 Fig.4(c)에서 많은 양의 기공이 고루 분포되어 있고 발포도가 가장 높음을 알 수 있다. 그 이유는 회전수가 높아 질수록 기공이 많이 발생하기 하기 때문이다.[5] 실제로, Fig.4(c)~(d)는 앞의 것들보다 기공의 양이 많음을 쉽게 확인할 수 있다. 그러나, Fig.4(d)와 같은 고속 회전시, 용탕 내부에 작은 기공들이 1350rpm보다 많이 발생함에도 불구하고, 상대적으로 큰 기공이 다수 발견되는 이유는 과도한 회전속도로 인하여 대기 중의 공기가 유입됨에 따라서 TiH₂를 통한 기공 외의 것도 존재하게 되어 결과적으로 발포에 좋지 않은 영향을 끼치기 때문이다. 따라서, 발포재의 성형에서 임펠러에 적절한 회전수를 부여하여 공기가 용탕 내부로 들어오는 것을 억제하면서 균일한 분산이 가능하도록 하는 것이 매우 중요함을 알 수 있었다. Fig.4(a)~(d)의 발포량은 Table.3와

같다.

Table.3 Foaming results at various stirring velocity

Weight of A380 (g)	Height (H ₀ ,mm)	Foamed height (H,mm)	H/H ₀	Porosity (%)
393	40	101	2.5	60
220	23	64	2.7	64
215	22	94	4.2	76
250	26	95	3.7	72

3.3 가열속도



(a) 20°C/min (b) 30°C/min (c) 40°C/min (d) 50°C/min
(T = 595°C, V_s = 1700rpm, T_r = T)

Fig.5 Foamed aluminums at various foaming velocity

Fig.5는 발포속도에 따른 소재의 발포양상을 나타내었다. Fig.5(c)가 기공의 사이즈가 크면서도 균일한 분산을 이루고 있음을 알 수 있다. 그 이유는 순간적인 온도상승으로 점도가 감소함에 따라서 기공이 순간적으로 커졌기 때문이다. 유도가열의 특성상 끝단효과에 의해서 용탕의 가장자리와 하부의 온도가 먼저 증가를 하므로 용탕 내부에서 밀도차가 발생하게 된다. 그 결과로 기계식 교반없이도 내부 유동이 유발되고 이 유동은 가열속도가 증가함에 따라서 더욱 격렬하게 일어난다. 즉, 높은 가열속도 때문에 용탕 내부에 존재하는 기공의 변형을 유발하고, 난류유동이 일어나는 영역에서는 기공들이 서로 합체하여 큰 기공이 생성되는 것으로 사료된다. Fig.5(c)~(d)에서 이러한 현상을 확인할 수 있었다. 이 실험을 통하여 가열속도의 변화가 기공의 크기와 형상에 미치는 영향을 알 수 있었다. Fig.5의 발포량은 Table.4와 같다.

Table.4 Foaming results at various foaming velocity

Weight of A380 (g)	Height (H ₀ ,mm)	Foamed height (H,mm)	H/H ₀	Porosity (%)
393	41	101	2.5	59
221	23	64	2.7	64
216	22	94	4.2	76
251	26	95	3.7	72

3.4 발포온도



(a) 595°C (b) 605°C (c) 625°C (d) 680°C
(T = 595°C, V_s = 1700rpm, V_f = 20°C/min)

Fig.6 Foamed aluminums at various foaming temperature

Fig. 6은 발포온도의 변화에 따른 기공 생성 양상을 나타낸 것이다. Fig.6을 통해서 발포온도가 증가함에 따라서 기공의 크기는 증가하지만 전체적인 기공 형상 유지 측면에서 불안정해짐을 알 수 있었다. 그 이유는 용탕이 일정시간이상 가열이 되면 기공의 사이즈는 증가하더라도 과도한 팽창으로 인하여 자중 및 유도가열에 따른 불균일 가열에 의하여 기공들이 서로 합칠려고 하기 때문인 것으로 사료된다. 실제로, Fig.6(c)~(d)에서 움푹패인 부분을 통해서 확인할 수 있었다. 이를 통해서 발포온도는 기공의 성장 및 형상의 유지 측면에서 중요한 변수임을 알 수 있었다. Table.5는 Fig.6의 실험결과를 나타내고 있다.

Table.5 Foaming results at various foaming temperature

Weight of A380 (g)	Height (H ₀ ,mm)	Foamed height (H,mm)	H/H ₀	Porosity (%)
284	29	87	3.0	66
251	26	95	3.7	73
228	23	80	3.4	70
175	18	68	3.8	74

4. 결론

알루미늄 발포소재의 성형 공정 인자가 기공제어에 미치는 영향에 대한 연구결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) 발포 성형의 전 공정에서 용탕온도의 변화가 발포 소재의 기공의 크기에 큰 영향을 미침을 알 수 있었다.

(2) 교반시, 임펠러의 회전수는 기공의 분산과 밀접한 관련이 있음을 알 수 있었다.

(3) 발포속도는 교반 후의 용탕의 상태에 큰 영향을 미쳐 내부 유동을 유발하며 이에 따라서 기공의 크기 및 형상의 결정과 관계있음을 알 수 있었다.

다.

(4) 발포온도는 교반 후에 기공의 성장을 통한 발포율의 증가에 영향을 끼치며, 반응용 상태에서 완전 액상 상태로 가열이 이루어지므로 부피 팽창에 의한 기공 형상의 안정성에 영향을 줄 수 있었다.

참고문헌

1. Zhen-lun Song, Jin-song Zhu, Li-qun Ma, De-ping He, 2001, "Evolution of foamed aluminium structure in foaming process", Material Science and Engineering A298 pp.137-143
2. Liqun Ma, Zhenlun Song, 1998, "Cellular structure control of aluminium foams during foaming process of aluminium melt", Scripta Materialia, Vol.39, No.11, pp.1523-1528
3. N.Aoyagi, Y.Kojima, 1999, "Production process and microstructure of aluminium alloy foams by semi-solid stirring method", Proceedings 5th International Conference on Semi-Solid Processing of Alloys and Composites pp.449-455
4. D.G.Lee, S.H.Lee, C.G.Kang, 2001, "Continuous combined process for homogeneous disperation of ceramic particle and aluminum materials", Spring conference of Korean Society of Precision Engineering, pp381~384
5. B.J.Kim, S.M.Oak, Y.H.Moon, 2000, "Physical Modeling of foam generation in molten aluminium", Proceeding of the 2nd Cross Symposium on Material, Energy and Environmental Science, pp.99~100