

P/M법과 유도가열법을 이용한 Al Foam 재료의 기공제어

윤성원* · 이승후* · 강충길**

Control of Cell Morphology of Al Foams fabricated by P/M Method and Induction Heating

S. W. Youn, S. H. Lee, C. G. Kang

Abstract

Aluminium foams, having a closed cell structure, fabricated by applying the powder compact method and an induction heating were studied. The powdered A6061 mixed with the powdered titanium hydride as a foaming agent was hot pressed into a foamable precursor. The resulting precursor was foamed by induction heating up to desired temperature. The effects of the titanium hydride content (0.3~1.5 wt.%), pressing pressure of the foamable precursor material (50~150kN), the forming temperature (610~690°C) and heating rate during foaming on the expansion behavior of the foam were investigated.

Key Words : Closed Cell Metallic Foams, Powder Processing, Induction Heating, Compaction Pressure

1. 서 론

발포알루미늄은 Al 합금내에 분포와 크기 및 형상 면에서 균일한 기공(cell, pore)을 인위적으로 발생 및 성장시켜 부피를 팽창시킨 다공질의 초경량 재료이다. 비강성이 높고 소음 및 진동감쇄능이 뛰어나며, 에너지 흡수율, 전자기차폐효과 면에서도 우수하다. 또한 외관이 미려하고 가공이 용이하며 재활용이 가능한 환경친화적 재료로서 연구가 활발히 이루어져 왔다.

기공의 형태적 측면에서 분류하면 발포알루미늄은 closed cell과 open cell로 나눌 수 있는데 전자는 각각의 기공이 고립되어 있는 구조이고 후자는 연결되어 있는 구조이다.

기공의 크기와 모양이 상이한 구조로 인해서 특성이

우수한 열적 성질을 가지고 있다. Open cell 발포알루미늄의 경우는 열전도도가 매우 우수하여 유체의 열교환기로 쓰이는 반면 closed cell 발포알루미늄의 경우는 고립된 기공 안의 기체로 인해 열전도도가 낮으므로 단열재로 쓰인다.

그 외의 적용분야로는 초경량자동차의 바디판넬, 항공 우주 분야용 광학기기, 배터리용 전극, 고속도로용 소음 방지재, 건축자재 등에 쓰인다⁽¹⁾⁻⁽²⁾.

발포소재의 제조방법에는 가스나 발포제를 이용한 주조법, 인베스트먼트 주조법, 분말법 등이 있으나 3차원 복잡형상의 제품에는 분말야금과 주조법을 결합시킨 경계영역가공기술만이 적용되고 있다.

경계영역가공기술을 사용할 경우 발포제의 균일분산이 비교적 용이하고 3차원 복잡형상의 성형이 가능하며 샌

* 부산대학교 대학원 정밀기계공학과

** 부산대학교 기계공학부

드워치형 발포판재와 같은 제품을 만들 수 있다는 장점이 있다. 그러나 공정상의 문제로 인해 비교적 단순한 형상의 제품만이 대량생산되고 있다.

P/M법을 이용한 발포알루미늄 제조공정에 대한 연구 동향으로는 Simancik⁽³⁾는 기공의 크기 및 형상이 drainage에 큰 영향을 받으며 외압에 영향을 받는다고 발표하였다. Kriszl⁽⁴⁾는 발포알루미늄의 밀도구배, 기공의 배향성 등에 따라 기계적 성질이 크게 달라진다고 하였다. Duarte⁽⁵⁾는 전기로를 사용한 실험을 통해 가열 속도 등 여러 인자가 발포양상에 미치는 영향에 대해서 보고하였다. 지금까지 발표된 연구들은 가열시간을 제어 하면서 발포온도를 제어하기 때문에 가열속도를 조절하기가 어렵고 시간이 많이 소요된다.

따라서 본 연구에서는 프리커서 제조에 적합한 가압력, TiH₂의 함량을 조사한 후 유도가열기를 사용하여 가열속도를 변화시키면서 발포양상을 관찰하였다.

2. 실험

본 실험에서 사용한 지지합금은 Valimet Aluminium Spherical Alloy Powder 6061(325mesh)이고 발포제로서는 TiH₂ 분말(200mesh)을 사용 하였다.

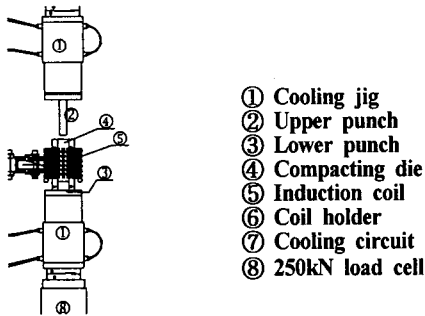


Fig. 1 Schematic diagram of apparatus

지지합금분말과 발포제 분말의 혼합에는 분체혼합에 널리 쓰이는 V형 균일혼합기를 사용하였다. 혼합분말을 압축다이의 캐비티 내에 넣고 15kW용량의 고주파유도 가열기를 사용하여 예열을 한 다음 가압력을 50, 70, 90, 120kN로 변화시키면서 실험을 하였다. 예열시 열전대를 사용하여 분말의 하부부분과 상부부분의 두 곳의 온도를 측정하였으며 예열온도는 Kresse⁽⁶⁾의 TiH₂의 TGA 분석결과에 따라 H₂가스가 급격히 발생하기 전의 온도인 450℃로 설정하였다. 제조된 프리커서를 발포시킨 결과로부터 적절한 압축 압력을 조사하였다. 실험에서 얻어진 최적의 가압력에서 TiH₂함량(0.3, 0.5, 0.7, 1.0, 1.5 wt. %)에 따른 비교적 낮은 발포도에 대한 발포실험을 하여 균일한 기공을 만드는데 가장 적절한 발포제의 함

량을 결정하였다. 또한, 최종발포온도, 가열속도 변화에 따른 실험을 하여 각 조건에서의 발포알루미늄의 거시적 조직사진을 관찰하였다.

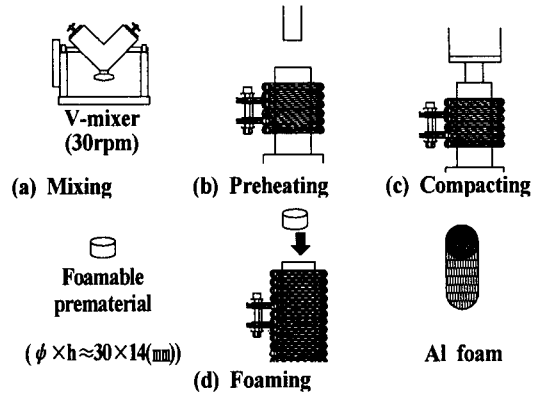


Fig. 2 Process schematic for the forming test

3. 실험 결과

3.1 가압력이 미치는 영향

Fig. 3은 $\phi \times h_0 = 30 \times 30.5\text{mm}$ ($\approx 30.5\text{g}$)인 혼합분말을 450℃로 가열 후 150kN으로 가압 하였을 때의 가압력-압축을 곡선이고, Fig. 4는 몇몇 하중단계에서 시편의 거시적 조직사진을 나타낸 것이다.

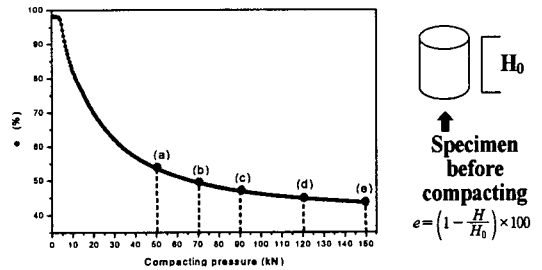


Fig. 3 Compacting pressure - height reduction curve ($P_c=150\text{kN}$, $T_{\text{max}} = 640^\circ\text{C}$, 1.5 wt. % TiH₂, Quenching)

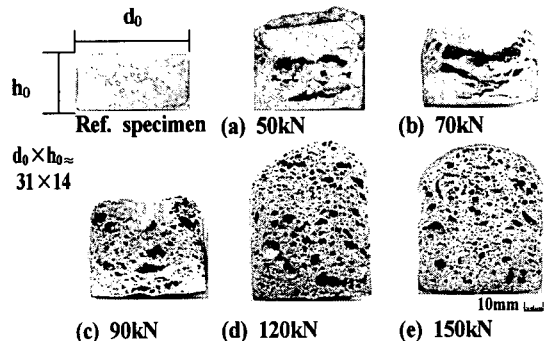


Fig. 4 Morphology of the aluminium alloy 6061 for variation of compacting pressure. ($T_{\text{max}} = 640^\circ\text{C}$, 1.5 wt. % TiH₂, Quenching)

90kN이하의 하중으로 가압한 시편은 내부에 밀도구배에 의해 발포가 제대로 이루어지지 않았고(Fig. 4(a)~(c)), 120kN과 150kN의 경우 발포도는 유사하나 150kN(212Mpa)인 경우가 합체에 의한 조대화가 더 적음을 Fig. 4로부터 알 수 있었다(Fig. 4(d), (e)).

3.2 TiH₂의 함량 및 최종발포온도의 영향

본 실험에서는 균일한 기공분포를 가질 수 있는 TiH₂ 함량을 조사하기 위하여 발포제의 함량변화에 따라서 기공의 성장거동을 조사하였다.

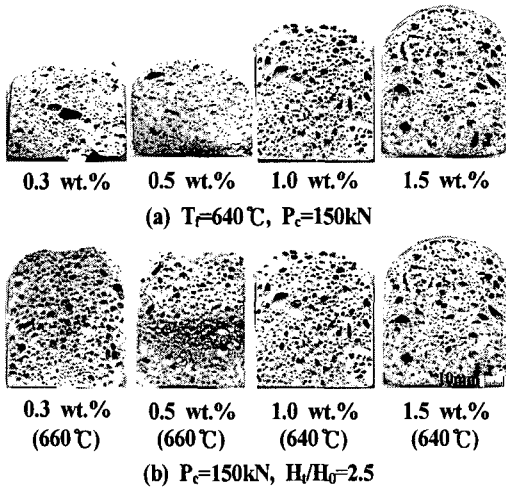


Fig. 5 Morphology of foamed aluminium produced by different additions of TiH₂

Fig. 5(a)는 동일 발포온도에서 TiH₂의 함량에 따른 거시적 조직사진이다. TiH₂ 양이 많을수록 발포도(H_f/H₀)는 높았고 구상의 기공이었다. Fig. 5(b)는 동일발포도에서 TiH₂의 함량에 따른 거시적 조직사진이다. 0.3 wt.% TiH₂ 일 때 기공의 분포나 크기가 균일하였다.

동일 발포온도에서 TiH₂의 함량이 많을수록 높은 발포도(H_f/H₀)를 얻을 수 있으나 기공의 크기나 분포의 균일도는 얻기가 힘들다. 반면에 TiH₂의 함량이 적으면 높은 온도까지 가열해야 기공의 크기나 분포의 균일도 면에서 우수한 제품을 얻을 수 있다.

Fig. 6은 0.3 wt.% TiH₂, P_c(compaction pressure) = 150kN의 조건으로 제작한 프리커서를 약 2°C/sec의 가열속도로 온도단계별로 발포시킨 후 수직으로 절단한 면의 거시적 조직사진이다. 유도가열의 단점인 온도구배 문제 때문에 발포하기 직전 온도인 600°C에서 유지하였다. 가열속도의 조절은 유도가열기의 출력을 조절함으로써 하였는데 같은 출력이라도 온도구간에 따라 다소의 속도의 차이가 있었다.

따라서 평균가열속도와 유도가열출력을 함께 표기하였

다. 약 610 °C에서부터 미소한 팽창을 육안으로 확인할 수 있었고(Fig. 6(a), (b)), 기공은 가압방향에 수직으로 크랙과 같은 형태로 발달하고 있음을 알 수 있었다. 이 중 상당히 조대한 것 들이 관찰되었고 Fig. 5(a)에서 알 수 있듯이 낮은 발포도(H_f/H₀)에서는 TiH₂의 함량에 관계없이 이 크랙을 관찰할 수 있었다. 그러나 이 크랙은 2배 이상발포를 시킬 경우 시편에서는 관찰되지 않는 것으로 보아 기공의 성장과정에서 소멸되는 것으로 판단 된다. 발포초기의 이방성(anisotropy)을 가지는 기공이 성장하면서 구상으로 변해가고 있다. (Fig. 6(c)~(f))

성장한 기공이 얇은 벽면을 경계로 인접한 기공과 접촉하면서 점차 다각형의 형태를 띄게 되며(Fig. 6(g)) 성장이 계속되면 기공벽면의 파괴로 인한 합체가 일어나게 된다(Fig. 6(f)). Fig. 7은 Fig. 6의 결과를 발포온도-발포도(H_f/H₀) 곡선으로 나타낸 것이다.

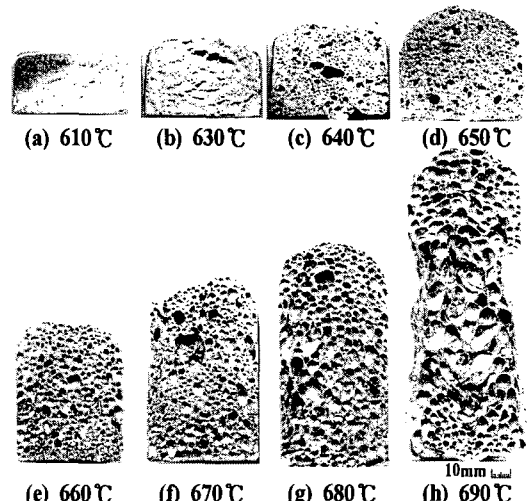


Fig. 6 Morphology of foamed aluminium produced by additions of 0.3 wt. % TiH₂ in different temperature (P_c=150kN, heating rate≈2°C/sec)

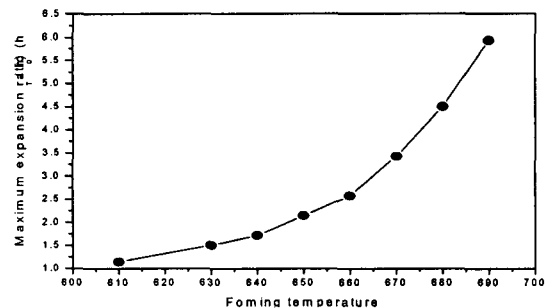


Fig. 7 Forming temperature - expansion ratio curve of foamed aluminium produced by additions of 0.3 wt. % TiH₂ in different temperature (P_c=150kN)

3.3 가열속도의 영향

Fig. 8은 출력의 변화에 따른 실험결과를 나타낸 것이다. 표기된 가열속도는 최고가열온도/전체가열시간으로서 온도구간마다 다소의 구배가 있었으며 특히 610~650°C영역에서 현격한 온도감소 구간이 있었다. Fig. 8(a)는 6kW의 출력으로 연속가열한 시편으로서 비교적 균일한 기공의 분포와 크기를 가지고 있다. Fig. 8(b)는 8.5kW의 출력으로 680°C까지 가열한 경우인데 가열속도가 빠른 만큼 성장속도가 부족하여 Fig. 8(a)에 비해 낮은 발포도(H_f/H_0)를 나타냈다. Fig. 8(c)의 경우에는 가열속도가 거의 초당 4°C/sec 였고 650°C이상에서는 더 높은 가열속도를 보여서 시편을 채취하는데 어려움이 있었다. 680°C까지 도달하는데 걸리는 시간이 너무 짧았기 때문에 성장이 조금밖에 일어나지 않았다. 따라서 Fig. 8(d)에 나타낸 바와 같이 700°C까지 가열시켜 보았다. 발포도는 상당히 높았으나 국부적으로 조대화 된 부분이 많아 균일도 면에서는 개선되지 않았다. 이것은 유도가열에서 흔히 발생하는 온도 구배현상 때문으로 보인다. Fig. 8(e)는 장시간의 가열시간에 의해 내부기공이 조대화 될과 동시에 기공의 수가 현저히 감소하였다. 또한 하부에 drainage에 의한 두꺼운 층이 관찰된다.

Fig. 8(b)~(d)의 경우와 같이 속도가 빠른 경우의 기공의 불균일성은 몰드와 유도코일의 설계를 통해 가열시 온도 불균일성을 최소화 시키면 발포상태가 개선될 것으로 판단되어 향후 실험에서 행하기로 하였다.

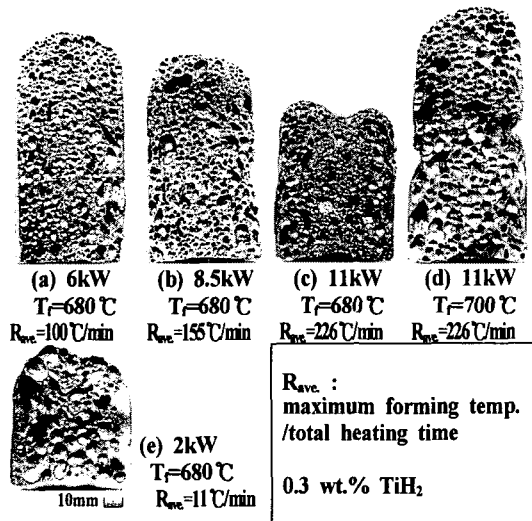


Fig. 8 Effect of heating rate on uniformity and size of pore

4. 결론

알루미늄 합금을 이용한 발포실험을 통해서 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- (1) 본 실험에서 프리커서 제조시 적합한 가압력은 (150kN) 212Mpa 였다.
- (2) 동일가열속도 조건에서 TiH_2 의 함량이 많으면 낮은 온도에서 원하는 발포도를 얻을 수 있으나 기공의 크기나 분포의 균일도는 얻기가 힘들다. 반면에 TiH_2 의 함량이 적으면 높은 온도까지 가열해야 하나 기공의 크기와 분포가 균일한 우수한 제품을 얻을 수 있었다.
- (3) 가열속도가 빠르면 형상과 크기 면에서 대체로 균일한 기공을 얻을 수 있지만 너무 빠른 경우에는 성장이 충분히 일어나지 않았고 온도구배에 의한 국부 조대화 현상이 보였다.

참고 문헌

- (1) Banhart, J., Ashby, M. F. and Fleck, N. A., "Metal Foams and Porous Metal Structures", MIT-Verlag, Bremen, 1999.
- (2) Ashby, M. F., Evans, A., Fleck, N. A., Gibson, L. J., Hutchinson, J. W., Wadley, H. N. G., "Metal Foams-A Design Guide", Butterworth-Heinemann, 2000.
- (3) Simancik, F., Minarikova, N., Culak, S., Kovacic, J., 1999, "Effect of foaming parameters on the pore size", Proc. of the 1st Int. Conf. on Metal Foams and Porous Metal Structures, pp. 105~108.
- (4) Kriszt, B., Foroughi, B., Faure, K., Degischer, H. P., 1999, "Deformation behavior of aluminium foam under uniaxial compression (a case study)", Proc. of the 1st Int. Conf. on Metal Foams and Porous Metal Structures, pp. 241~246.
- (5) Duarte, I., Weigand, P., Banhart, J., 1999, "Foaming kinetics of aluminium alloys", Proc. of the 1st Int. Conf. on Metal Foams and Porous Metal Structures, pp. 97~104.
- (6) Kresse, R., 1999, "Characteristics and Handling of Titanium Hydride", Proc. of the 1st Int. Conf. on Metal Foams and Porous Metal Structures, pp. 109~111.