

發泡알루미늄의 製造에 關한 研究

김 영 태

공업화학과

김 명 호

재료공학과

김 정 호

대산알루미늄주식회사주조과

<요 약>

Al-Mg합금에 소량의 Ti를 가하여 발포금속 (foamed metal)을 제조할 경우, Al-Mg 합금의 응고 특성 및 기공의 생성에 미치는 주입온도, 냉각속도 및 Mg 합금량의 영향관계를 조사 연구 하였다.

A Study on the Manufacturing of the Foamed Aluminium.

Kim, Young Tae

Dept. of Industrial Chemistry

Kim, Myung Ho.

Dept. of Material Science and Eng.

Kim, Joung Hyo.

Aluminium of Korea Co. Ltd.,

<Abstract>

In manufacturing the foamed metal with Al-Mg-Ti alloys, the effect of pouring temperature, cooling rate and Mg content on the formation of porosity were studied.

I. 서 론

물에 뜨는 경량금속의 제조는 오랜동안 금속공학자들의 꿈이었으며, 이에 관한 연구는 전 세계적으로 꾸준히 진행되어왔다.

그러나 이의 제조에 관한 연구는 근년에 와서야 유기화합물 분야에서의 코분자 발포체의 출현을 제기로 촉진되었으며, 1930년대 초반부터 이의 제조법에 관한 특허가 일본에서도 출원되기 시작하였다⁽¹⁻⁶⁾

그리고 이들 대부분의 경량금속 제조 법은 아래 <Table 1>에서 보는 바와 같이, 경금속 및 그 합금에 발포제를 첨가함으로써 발포금속을 제조하는

방법, 즉 발포에 의하여 소지금속에 다수의 기공 (porosity)을 생성시켜 비중을 감소시키는 데 주안점을 둔 방법들이므로 일명 발포금속(foamed metal) 제조법이라 알려져 있다.

그리고 이들 발포금속(foamed metal)은 경량성 뿐만 아니라 불연성, 강도, 가공성 등이 우수하므로 그 용도 또한 다양하여 차량이나 선박, 항공기 등의 경량 구조재로서 뿐만아니라 건축재료등 다방면에 실용이 가능하다^(7,8,9)

그러나 이들 제조법에 관한 자료는 모두가 특허로만 발표되어 있을뿐, 이들 금속에 관한 고찰이나 기공의 생성에 미치는 제조인의 영향관계에 관하여는 발표된 바 거의 없다.

<Table 1> 發泡 금속 제조법(일본 특허)

제 조 법	적 용 금 속	발 포 제	제 법 의 특 징	참 고 문 헌
method 1.	경금속(Mg, Al 및 그 합금)	Mg, Cd 등의 탄산염	금속과 발포제의 혼합물을 열간압출 한후 가열 발포시킴	(1)
method 2.	저 용 점 금 속	Al, Zr 등의 수소화물	발포제를 함유한 저온도의 용융금속을 고온도의 용융금속중에 혼합한후 심하게 교반하고 발포초기에 금냉시킴	(2)
method 3.	Al, Zn, Fe, Pb, Cu, Ni 및 그 합금	Ti, Zr 등의 수소화물	금속입자와 발포제 입자를 혼합하여 가열실을 통과하면서 금속을 용융시키고 발포를 일으킴. 그후 냉각과정을 통함.	(3)
method 4.	저 용점 금속(Al, Zn, Pb, Sn 등)	NaCl	NaCl분말사이에 용융금속을 압입하고 응고후 표면을 기계가공 한후 수중에서 NaCl을 용출시킴	(4)
method 5.	Al, Zn, Mg, Pb, Ni, Cu 및 그 합금	석영질 비금속 수산화물 혼합제	용융금속에 발포제를 가하고 고액공존온도로 낮춰 결정수를 분해시켜 발포시킴.	(5)
method 6.	Al합금 (Ti 0.5~5%, Mg 2~25%, Si 2~18%)	없 음	용융 Al에 Ti을 가한후 Mg, Si을 가함. 교반한 후 적당한 온도로 주입함.	(6)

따라서 본인들은 量産에 적합하고 값싸게 제조할 수 있는 발포금속 제조법을 개발하기 위한 연구의 일부로서, 발포제의 사용없이 각 금속의 합금에 의한 발포금속 제조법인 일본특허 “다공질 합금제조법”⁽⁶⁾에 우선 착안하여 보았다.

본 특허에 의하면 생성기포의 크기를 적당히 조절하기 위하여 용융 알루미늄에 2~25%의 Mg을 첨가하며, 또한 0.5~5%의 Ti을 첨가함에 의하여 적당한 감성을 부여해 주는 공정이 주된 특징으로 되어 있다.

그런데 일반적으로 Al-Mg계 합금은 용융시 또는 주형에서의 注湯시 현저한 산화거동을 나타내며, 또한 기공(porosity)생성에 의하여 다공성이 생기기 쉬운 합금으로 알려져 있다.⁽¹⁰⁾

이때 기공생성의 원인은 주로 응고 중에 있어서의 응고수축(solidification shrinkage)과 과포화 가스의 석출이며, 과포화 가스의 대부분은 H₂ gas임도 알려져 있다.^(11, 12, 13)

또한 생성되는 기공의 정도나 형상은 수소의 과포화도, 용탕의 냉각속도(cooling rate) 및 합금의 종류에 따른 응고온도 범위(freezing range)의 길이 등에 의하여 큰 영향을 받는다는 사실도 알려져 있다.⁽¹⁰⁾

따라서 본 실험에서는 Al-Mg계 합금에 소량의 Ti을 가하여 발포금속(foamed metal)을 제조할 경

우 응고특성 및 기포의 생성에 미치는 각 요인의 영향관계를 고찰하기 위하여

i) 수소의 과포화도에 의한 영향관계를 고찰하기 위하여 용탕의 주입온도를 변화시켜 보았으며,

ii) 용탕의 응고속도의 차이에 의한 영향관계를 고찰하기 위하여 시편 주형의 두께를 변화시켜 보았으며,

iii) 응고온도 범위(freezing range)의 변화에 의한 영향관계 및 Mg함량의 영향관계를 고찰하기 위하여 Mg 함금량-을 변화시켜 보았다.

II. 실험방법

1. 시편제작

순도 99.99%인 Aluminium ingot를 中周波誘導爐(BIRLEC 30KW 40V 3000Hz 영국제)에서 용해시킨후 소량의 板狀 Ti을 가한후 1000°C로 유지시키면서 계속 가열하여줌으로써 Ti을 완전 용해합금시켰다.

Ti이 완전 용해합금된후 Mg을 첨가하였으며 이때 약간의 slag가 형성되었다.

이때 성분 분석을 위한 시료는 용탕주입중에 별도로 금형에 주입하여 제작 하였으며, 그 화학분석치는 <Table 2>와 같다.

Table 2

성분	Cu	Si	Fe	Zn	Mg	Mn	Ti	Cr	Al
charge									
A-Charge	0.01	0.05	0.38	0.01	3.9	0.0	0.74	0.001	balance
B-Charge	0.01	0.05	0.40	0.01	7.1	0.0	0.77	0.001	balance
C-Charge	0.01	0.10	0.38	0.001	10.0	0.0	0.83	0.001	balance

용탕은 주입직전에 stainless steel 棒으로 교반 (agitation)하여 주었으며, 용탕의 주입온도는 950°C, 850°C, 750°C의 3가지로 하였다. 이때 砂型鑄型(sand mold)의 수분 함량은 8%정도로 하였다.

또한 시편의 형상은 아래 <Fig 1>과 같이 하였으며, 이때 시편의 두께를 10mm, 15mm, 20mm, 25mm의 4가지로 함으로써 응고속도의 변화를 시도하였다.

2. 氣孔(porosity) 측정

시편의 기공수는 시편의 중앙부를 절단하여 emery paper에 순차적으로 polishing 한후 Vickess M-55 Projection Microscope(영국제)로 5배로 project 시켜 측정하였다. 이때 각 시편마다 대략 5~7회의 측정을 행하였다.

Ⅲ. 실험결과 및 고찰

각각의 시편에 대한 측정 값을 <Table 3>에 표기하였다. 이때 측정값은 각 시편마다 대개 5~7회의 측정을 행한 후 평균한 값이다.

또한 이때 제조된 각 발포금속 시편의 형상은 <photo 1>과 같다.

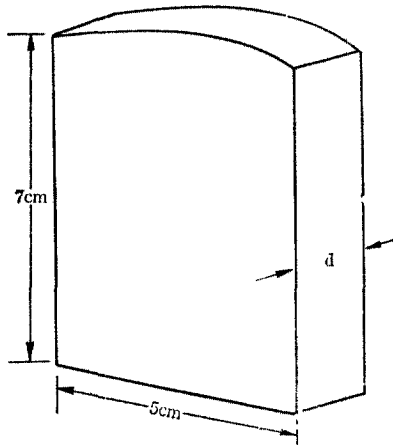


Fig. 1

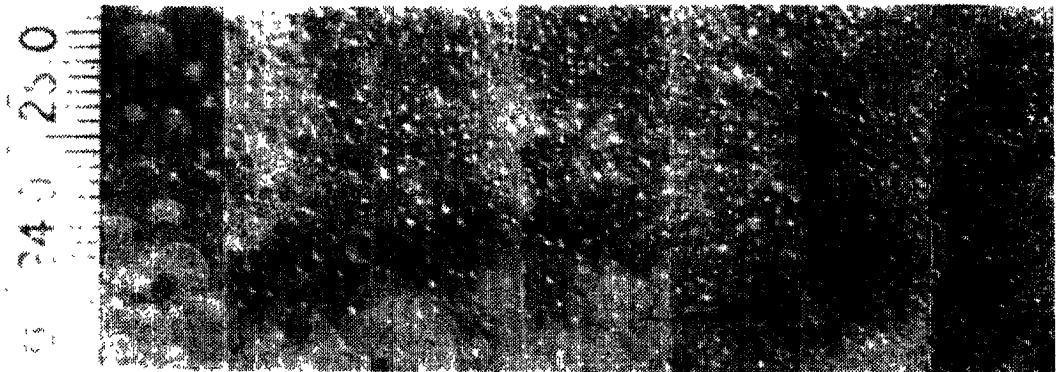


Photo. 1

Table. 3 각 시편의 平均氣孔數(個/cm²)

Mg 함금량	시편 두께				
	주입 온도	10mm, 15mm, 20mm, 25mm			
3.9%	750°C	145	136	138	126
	850°C	163	147	141	123
	950°C	172	155	146	141
7.1%	750°C	135	130	111	106
	850°C	147	140	119	112
	950°C	151	146	127	118
10.0%	750°C	105	50	29	39
	850°C	100	75	71	58
	950°C	129	104	85	95

1. 기공(porosity)의 생성에 미치는 주입온도의 영향 관계.

금속 및 합금의 주조시 일반적으로 발생하는 기공(porosity)은 금속의 응고시 수반되는 응고수축(solidification shrinkage)과 용탕중에 용해되었던 gas가 냉각 및 응고중에 석출되기 때문이며, 대개의 경우는 이들 양자의 복합 작용에 기인한다.

이러한 기공(porosity)의 생성 mechanism에 관하여는 Whittenberger^(14,15,16) 등이 기공생성을 주장하는 인가로서 Gas 농도와 수축부하(hydrostatic tension of shrinkage)를 택하여, 그 양자의 상호 작용과 기공 생성의 관계를 다음과 같이 定性的으로 설명하였다.

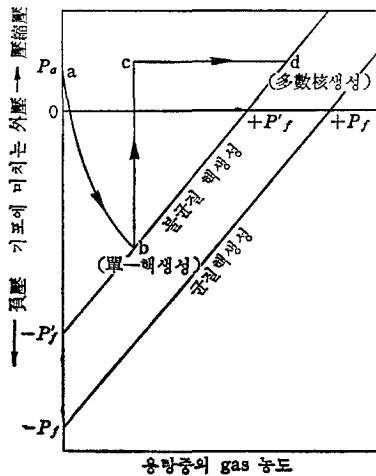


Fig. 2

즉 <Fig 2>에서 보면, 기공생성까지는 이르지

못한 a의 가스농도를 갖는 용탕은 固相으로 물리 시켜 外氣로 부터 차단되면, 固相의 수축에 따라 액체내에서 負壓을 만든다. 한편 gas는 농화(濃化)되어 그에 대응하는 평형 gas압은 증가되며, 이때 용탕압은 계속적으로 \bar{ab} 선에 따라 하강하여 b點에서 하나의 핵을 생성하고 성장한다. (수축부하에 의한 핵생성). 이 기공(porosity)의 발생과 급격한 성장으로 인하여 용탕압은 다시 c點까지 변화한다. 그 후 응고가 계속됨에 따라 液相의 gas는 농축되며 따라서 液相의 가스 농도는 \bar{cd} 선에 따라서 증가하여 d點에서 핵 생성을 한다. 이 경우에는 미세한 기공을 다수(多數) 생성한다. (석출가스에 의한 핵생성).

따라서, 만약 용탕의 과포화 가스량이 많을 경우에는 이러한 석출가스에 의한 핵생성이 쉽게 이루어지 마세한 기공이 多數 생성될 것이다.

그런데 Al-Mg 합금의 경우 그 용탕은 온도가 높을수록 H₂ gas의 용해도(solubility)는 <Fig. 3>과 같이 증가한다.

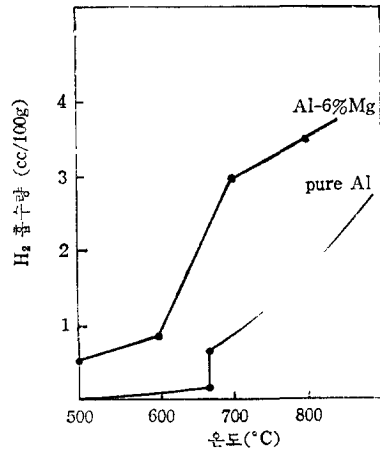
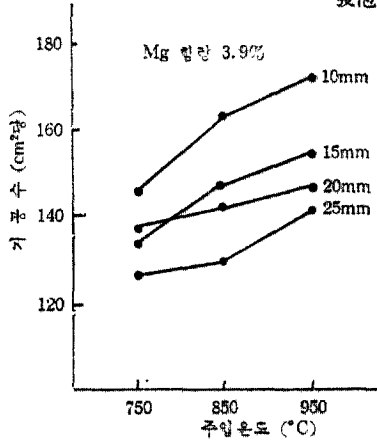


Fig. 3

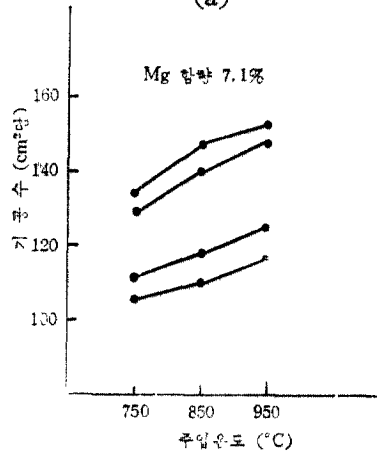
이들 용탕은 냉각됨에 따라 H₂ gas의 용해도(solubility)는 감소하며, 특히 응고구역(freezing range)에서는 그 量이 급격히 줄어든다. 이때 석출되는 과포화 수소가 기공생성의 주 원인이 되는것이다.

따라서 동일합금의 경우 용탕 주입온도가 높을 경우에는 석출하는 과포화 gas량도 상대적으로 많아지므로 기공수는 증가할 것이 예상된다.

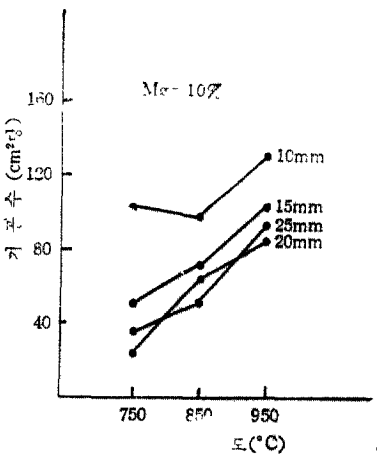
그러나 용탕의 주입온도가 높은 경우에는 용탕의 유동성(flowability)도 좋아지므로, 즉 점도(visco-



(a)



(b)



(c)

Fig. 4

sity)가 떨어지므로 이들 석출 기스는 응고점 까지의 냉각중에 쉽게 외부로 방출될 수 있을 것이다.

따라서 Al-Mg 합금의 경우 Ti 등을 첨가하여 응고점을 높여 주므로, 고온 주탕시 粘度의 저하를 막아주어 생기기포의 외부 방출을 도와주는 점이 본 발포 금속 제조의 주요한 특징이 될 것이다.

본 실험 결과 응고시 형성된 기포의 수는 아래 <Fig 4>에서 보는 바와 같이 주입온도가 높을수록 氣孔數가 증가함을 알 수 있었다. 이는 매우 타당한 것 같다.

2. 기공(porosity) 생성에 미치는 냉각속도의 영향관계.

일반적으로 鑄物은 급냉시킬수록 pinhole의 생성은 어려운 것으로 알려져 있다. 이는 응고온도 부근에서의 냉각속도가 빠르면, 금속중에 고용되는 가스가 많이 많아지기 때문이다.

그러나 본 실험결과 응고시 형성된 氣孔數는 <Fig. 5>에서 보는 바와 같이 시편의 두께가 두꺼울수록 즉 냉각 속도가 느려질수록 감소함을 알 수 있었다.

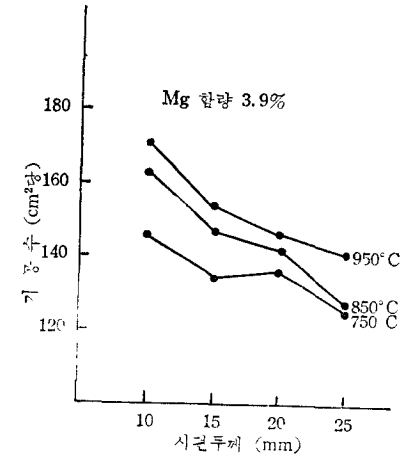
이에 관하여는 앞에서 언급한 바와 같이, 기포의 생기기구를 조핵현상(nucleation)과 성장(growth)으로 나누어 생각해 보면 쉽게 설명이 가능할 것 같다. 즉 과포화 가스의 석출 및 응고수축(solidification shrinkage)에 의하여 형성된 기포의 核數는 같을지라도 냉각속도가 느린 시편의 경우 이들 생기기포는 서서히 성장을 지속할 것이다. 이들 기포는 성장(growth)중 일의 기포와 겹하면 결합하여 하나의 커다란 기포로 성장하므로, 기공수는 오히려 줄어들 것이다.

이러한 생각은 <photo. 2>에서, 응고속도가 느릴수록 크게 성장한 기포가 존재함을 볼 때 매우 타당함을 알 수 있었다.

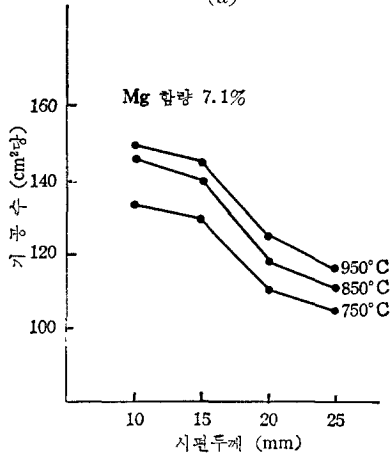
3. 기공(porosity)의 생성에 미치는 합금량의 영향관계

Whittenberger⁽¹⁴⁾에 의하면 동일합금계의 경우 응고영역(freezing range)이 넓은 금속은 응고후 기공율도 높다고 하였다. 즉 동일합금계의 경우 응고 영역(freezing range)과 기공율은 거의 비례한다고 하였다.

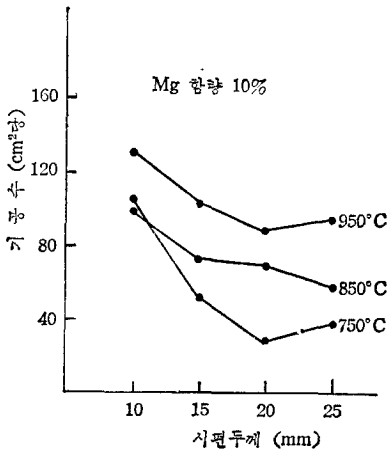
본 실험에 이용한 Al-Mg 합금계의 경우에는 <Fig. 6>에서 보는 바와 같이 Mg 함량 15%까지는 응고영역(freezing range)은 거의 직선적으로 증가한다.



(a)

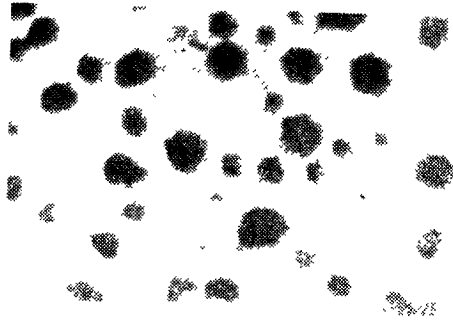


(b)

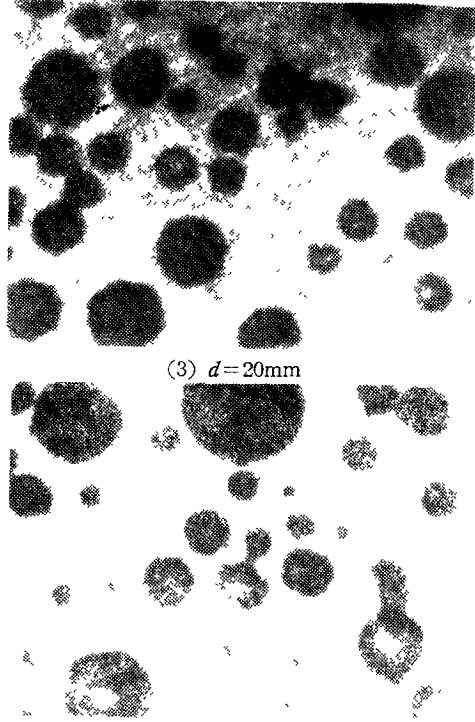


(c)

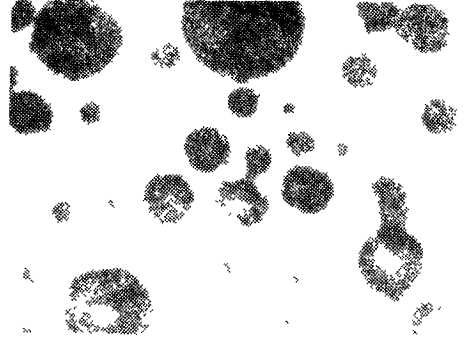
Fig. 5



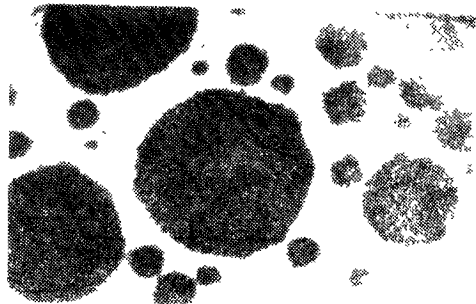
(1) $d=10\text{mm}$



(3) $d=20\text{mm}$



(2) $d=15\text{mm}$



(4) $d=25\text{mm}$

<Photo. 2>

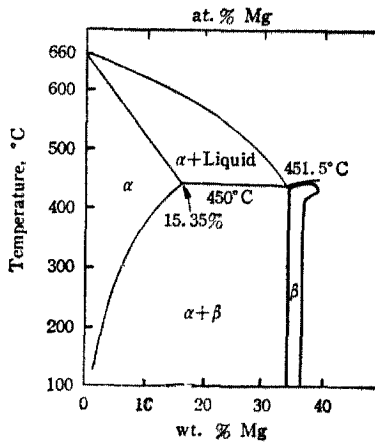


Fig. 6

그러나 본 실험결과 응고시 형성된 氣孔의 數는 <Fig. 7>에서 보는 바와 같이 Mg 함량이 증가할 수록 감소함을 알 수 있었다. 그러나 비중 측정에 의하여 계산된 기공율을 비교하여 보면 <Table 3>에서 보는 바와 같이 Mg 함량이 증가함에 따라 기

Table 3. 시편의 氣孔率의 一例

(주입온도 = 750°C, d = 25mm)

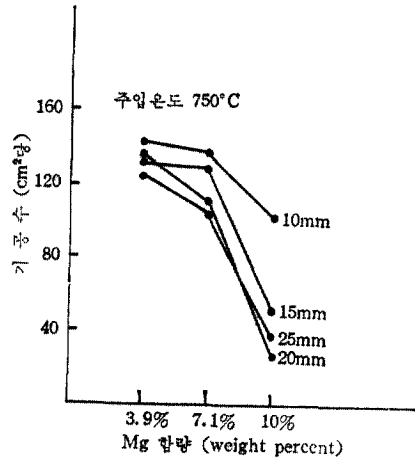
Mg 함금량 (%)	용적비중 (계산치)	실제비중 (측정치)	기공율 (%)
3.9%	2.675	1.681	37.5%
7.1%	2.647	1.623	38.7%
10.0%	2.618	1.512	42.3%

공율은 증가함을 알 수 있었다. 즉 함금량의 증가에 따라 기공의 數는 감소하지만 기공의 크기는 粗大化하여 氣孔率은 오히려 증가함을 알 수 있었다.

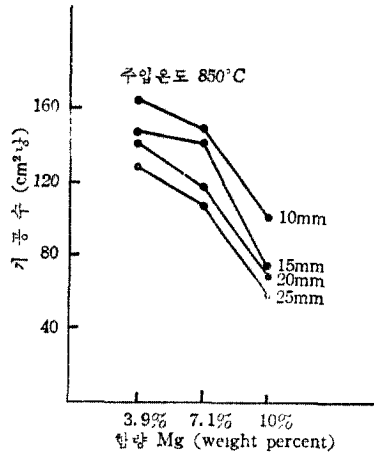
이로부터 기공생성이 미치는 Mg 함금량의 영향관계를 다음의 두가지로 생각하여 보았다. 즉 수소용해도가 높은 Mg의 함금량이 증가할수록 수소(H₂)의 과포화도가 증가하므로, 응고시 석출가스량도 비례하여 증가하여 기포의 核生成(nucleation)이 촉진되며, 또한 응고 온도범위(freezing range)가 넓어지므로 동일 냉각속도인 경우 기포의 성장시간이 길어져 기포의 粗大化현상을 촉진시킬 것이다.

IV. 결 론

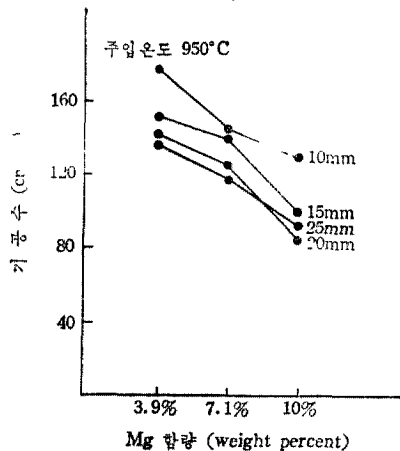
Al-Mg계 합금에 소량의 Ti를 가하여 發泡 금속(foamed metal)을 제조할 경우, 그 응고 특성 및



(a)



(b)



(c)

Fig. 7

기공의 형상에 미치는 주입온도, 냉각속도 및 Mg 함금량의 영향관계는 다음과 같다.

1. 주입온도가 높은 수록 파도화 수소 gas량이 증가하므로 생성되는 기공(porosity)의 수는 증가한다.

2. 냉각속도가 느릴수록 생성되는 기공(porosity)의 수는 감소하나 기공의 크기는 粗大化하여 기공율(氣孔率)은 증가한다.

3. 본 실험 범위내에서는 Mg 함금량이 증가 할수록 기공율(氣孔率)은 증가한다.

참 고 문 헌

1. 日本特許 出願公告 No. 昭 36—19459
2. _____ No. 昭 36—20351
3. _____ No. 昭 39—803
4. _____ No. 昭 39—3652
5. _____ No. 昭 42—20602
6. _____ No. 昭 43—12483
7. 鹽谷茂夫, 인문미술, pp. 20—27, No 504.
8. _____, 化學工業, Vol 25, No 11. pp. 88—91
9. 藤井清隆, 金屬, pp. 73—75, (1970)
10. 임덕택, 기계완역, 鑄造工學, 문은당, 서울 (1974)
11. P. D. HESS, *J. of METALS*, pp. 46—50. (1973)
12. 西成基壽, 輕金屬, Vol 24. No.2. pp. 89—98. (1974)
13. _____, _____, Vol 24, No. 3. pp. 130—134. (1974)
14. E. J. WHITTENBERGER, and F. N. RHINES, *Trans, AIME*, pp. 409—420. (1952)
15. J. CAMPBELL, *The British Foundryman*, 147~158 (1969)
16. _____, *I. S. I. pub.* 110. p. 18—26. (1967)