한국소성가공학회 2001년도 추계학술대회 논문집 pp.236~239

알루미늄재료의 Thixoforming공정에서 구상의 크기가 기계적 성질에 미치는 영향

박상문* · 신현기* · 강충길**

A Study about Relationship between the Mechanical Properties and Globule Size in Thixoforming Process of Aluminum Alloys

S. M. Park, H. G. Shin and C. G. Kang

Abstract

In thixoforming, the globule size is determined by the hoding time of last reheating stage. In this study, some experiments to investigate the relationship between the mechanical properties and the holding time were performed. A357, A390 and A319 alloys are used in this study. This paper shows the evolution of the microstructure according to the holding time of last reheating stage. Tensile test was performed for each reheating condition to examine the effect of globule size.

Key Words : Thixoforming(반용융성형), Reheating(재가열), Globular Microstructure (구상화 조직), Globule(구상), Holding Time(가열유지 시간).

1. 서 론

Thixoforming공정은 액상상태에서 성형하는 다이캐스팅이나 스퀴즈캐스팅 등의 공정에 비해서 성형시 높은 점성을 가지므로 가스함류량이 적고, 산화층 발생량이 적으므로 가공성도 좋다. 또한 고체상태에서 성형하는 단조공정에 비해서 낮은 하중에서 성형이 가능하므로, 복잡한 형상의 제품의 제조가 용이하다.

Thixoforming공정 중 재가열공정은 빌렛을 성형할 수 있는 온도영역으로 가열하는 것이 1차적인 목적이지만, 재가열 공정동안 가열온도, 가열시간, 가열유지시간 등의 재가열 공정변수들에 의하여 소재의 미세조직이 제어되기 때문에 적절한 재가열 조건을 찾는 것이 중요하다. 재가열 공정변수 중 가열온도는 액상율, 가열시간은 소재부위별 온도편차, 가열유지시간은 구상 크기에 각각 영향을 준다. 이러한 재가열 공정의 중요성 때문에 각 소재에 대하여 적절한 재가열 조건을 찾기 위한 많은 연구들이 진행되어 왔다.

반용융성형품의 기계적 성질에 영향을 미치는 요소중 재가열공정중에 제어할 수 있는 것으로는 고상률, 구상

* 부산대학교 대학원 정밀기계공학과
** 부산대학교 기계공학부

의 크기와 조밀도, 공정조직내의 Si입자분포도 등을 들 수 있다. Salvo[1] 등은 Al-Si합금에서 가열유지시간에 따른 초정입자 내부에 존재하는 액상의 변화양상에 따라 짧은 가열유지시간에서 최대의 강도를 가진다고 보고하였다.

본 연구에서는 가열유지시간에 따라 변화되는 구상의 크기가 반용융 성형품의 기계적 성질에 어떠한 영향을 주는지를 파악하고자 한다. A357, A319, A390 소재에 대하여 가열유지시간에 따른 미세조직의 변화를 관찰하였으며, 인장실험을 통하여 미세조직이 기계적 성질에 미치는 영향을 조사하였다.

2. 실 험

2.1 재가열 실험

본 연구에서 사용한 소재는 프랑스 PECHINEY社에서 전자기적교반을 이용해 제조한 A357, A390, A319이며, 각 소재의 화학조성은 Table 1에 나타나있다.[2]

Table 1 Chemical composition of aluminum alloys

	Si	Mg	Cu	Sr	Fe	Mn
A357	7.0	0.60	0.03	0.05	0.15	0.03
A390	17	0.65	4.5	-	0.40	0.10
A319	7.0	0.35	3.5	0.05	0.15	0.03

재가열실험은 50kW용량의 유도가열기를 사용하여 수행하였으며, 가열 시 소재부위별 온도편차를 알아보기 위하여 소재 중심부, 상, 하부 3곳의 온도를 측정하였다. 실험에 사용된 소재의 치수와 온도측정 위치는 그림 1에 나타나있다.

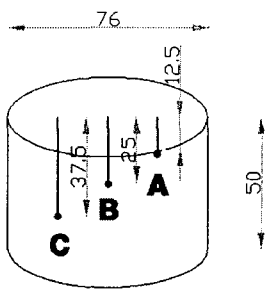

Fig. 1 Billet size and temperature measuring point

재가열실험을 할 때 빌렛의 각 부위별 온도편차를 줄이기 위하여 최종온도 부근에서 열유량을 적게하여 오랜 시간동안 가열하는 3단 재가열을 하였다. 구상입자 크기에 직접적인 영향을 미치는 변수인 3단계 가열유지시간을 변화시켜가며 실험하였다.

Table 2는 각 소재별 재가열조건을 나타낸 것이다.

Table 2 Reheating condition of aluminum alloys

	Temperature (℃)			Elevating time (min)			Holding time (min)		
step	1	2	3	1	2	3	1	2	3
A357	375	576	583	3	2	2	1	1	Var.
A319	450	560	578	4	2	2	1	1	Var.
A390	450	560	570	4	2	2	1	1	Var.

2.2 미세조직 관찰

재가열 공정 중3단계에서의 가열유지시간을 각각 1, 2, 3, 4분으로 하여 미세조직을 관찰하였다.

Fig. 2는 가열유지시간 변화에 따른 A357합금의 미세조직이다. 가열유지시간이 증가함에 따라 덴드라이트 조직이 점차적으로 구상화되고, 가열유지시간이 4분이상되면 구상이 조대화되는 것을 관찰할 수 있었다.

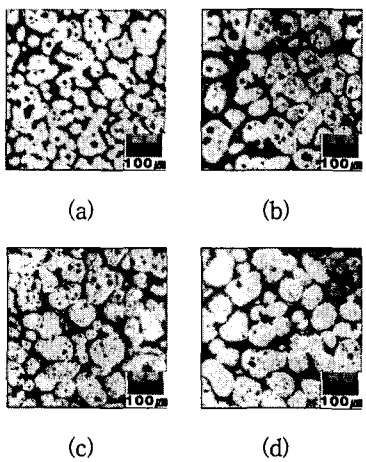

Fig. 2 Microstructure evolution of the A357 alloy with 3rd step holding time :
(a) 1min (b) 2min (c) 3min (d) 4min

Fig. 3은 가열유지시간 변화에 따른 A319합금의 미세조직이다. A357과 비슷한 양상을 보이고 있다.

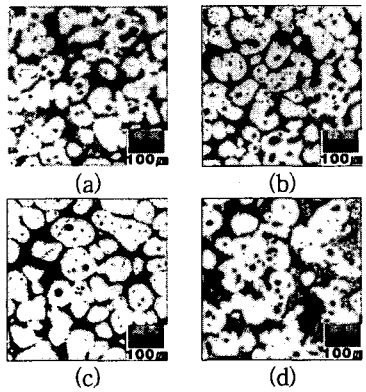

Fig. 3 Microstructure evolution of the A319 alloy with 3rd step holding time : (a) 1min (b) 2min (c) 3min (d) 4min

Fig. 4는 가열유지시간 변화에 따른 A390합금의 미세조직이다. A390은 과공정합금으로서, 아공정합금인A357 또는 A319 구상의 크기가 약 1/3정도이며, 공정조성 이상의 Si성분들이 공정조직 속에 석출되어 있으므로, 가열유지시간의 증가에 따라서 구상의 크기가 크게 달라지지 않음을 관찰할 수 있었다.

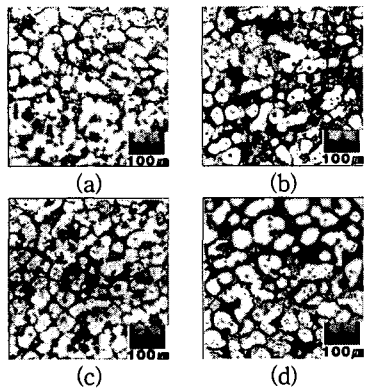

Fig. 4 Microstructure evolution of the A390 alloy with 3rd step holding time : (a) 1min (b) 2min (c) 3min (d) 4min

2.3 인장시험

Table 2에 나타나 있는 조건으로 재가열한 후 급냉한 빌렛으로부터 인장시편을 제작하였다. 3단계 가열유지시간이 1분, 2분, 3분, 4분인 경우 각각에 대해 인장시험을 수행하여 그 결과를 비교해 보았다.

인장시험은 MTS社의 재료시험기를 이용하였으며, 인장시편은 ASTM E 8M 규격대로 제작하였다. 변형률 속도는 $0.005s^{-1}$로 하였다.

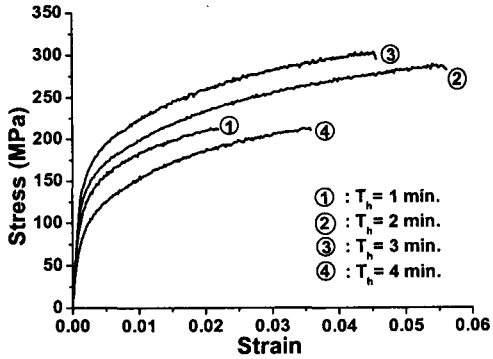

Fig. 5 Stress-Strain curve of reheated A357 alloy

Fig. 5는 재가열 후의 A357의 응력-변형률 선도를 나타낸 것이다. 3단계 가열유지시간이 3분일 때 최대 인장강도를 얻을 수 있었으며, 가열유지시간이 2분일 때 최대의 연신율을 가진다. 가열유지시간이 증가함에 따라 인장강도와 연신율이 증가하다가 다시 감소하는 양상을 보이고 있다. 이의 원인은 가열유지시간이 1분인 경우 아직 구상화가 완전히 이루어지지 않아 미세조직내에 다량의 덴드라이트 조직이 존재하기 때문이며, 2분에서 3분사이에서 덴드라이트 조직이 완전히 구상화가 되었기 때문인 것으로 사료된다. 가열유지시간이 4분을 지나면서 구상의 조대화가 진행되면서 다시 인장강도가 감소함을 알 수 있다. Table 3은 A357의 기계적성질의 변화를 나타낸 것이다.

Table 3 Mechanical properties vary with holding time (A357)

3rd step holding time [min]	Ultimate Tensile Strength [MPa]	Yield Stress [MPa]	Young's Modulus [GPa]	Elongation [%]
1	196	130	98	2.1
2	241	126	102	5.6
3	278	168	110	4.4
4	246	137	99	4.9

Fig. 6은 재가열 후의A319의 응력-변형률 선도를 나타낸 것이다. 가열유지시간이 증가함에 따라 인장강도가 증가하고 있음을 알 수 있다. 가열유지시간이 4분일 때 최대의 인장강도를 가지며, A357의 경우처럼 가열유지시간이 1분일 때 최소의 연신율을 가짐을 알 수 있다. A357에 비해 구상화 진행속도가 조금 느리지만, 비슷한 양상을 보이는 것으로 볼 때, 가열유지시간을 4분이상으로 한다면 인장강도가 다시 감소할 것으로 추측된다. Table 4는 A319의 기계적성질의 변화를 나타낸 것이다.

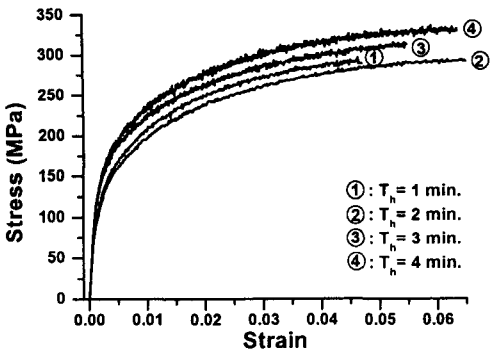

Fig. 6 Stress-Strain curve of reheated A319 alloy

Table 4 Mechanical properties vary with holding time (A319)

3rd step holding time [min]	Ultimate Tensile Strength [MPa]	Yield Stress [MPa]	Young's Modulus [GPa]	Elongation [%]
1	296	152	87	4.6
2	295	148	86	6.4
3	315	174	111	5.2
4	337	183	112	5.9

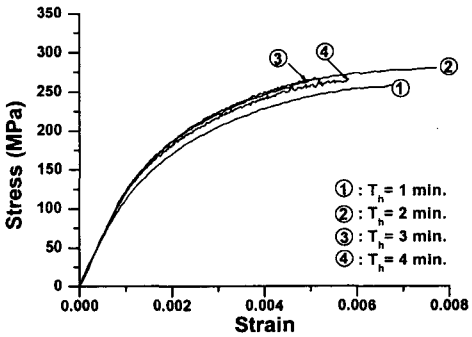

Fig. 7 Stress-Strain curve of reheated A390 alloy

Fig. 7에는 재가열 후의 A390의 응력-변형률 선도가 나타나있다. A390의 경우는 가열유지시간이 2분인 경우에 가장 높은 인장강도와 연신율을 가지고 있으나, A319나 A357에 비해 가열유지시간에 따른 인장강도나 연신율의 변화가 매우 적음을 알 수가 있었다. 이는 A390의 미세조직관찰에서 알 수 있었듯이, 공정상에 존재하는 다량의 Si입자들에 의해 구상들의 조대화가 방지되기 때문인 것으로 사료된다. Table 5는 A390의 기계적 성질의 변화를 나타낸것이다.

Table 5 Mechanical properties vary with holding time (A390)

3rd step holding time [min]	Ultimate Tensile Strength [MPa]	Yield Stress [MPa]	Young's Modulus [GPa]	Elongation [%]
1	258	228	116	0.7
2	280	242	135	0.8
3	267	249	123	0.5
4	265	240	126	0.6

3. 결 론

알루미늄합금의 반용융성형공정에서 구상입자의 크기가 기계적성질에 미치는 영향을 파악하기 위한 실험을 통하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) A357의 경우 3단계 가열유지시간 변화에 따라 인장강도와 연신율이 많은 차이를 보였으며, 가열유지시간이 약 3분일 때 최대의 인장강도를 가짐을 알 수 있었다.

(2) A319의 경우 가열유지시간이 1~4분인 구간에 한해서 가열유지시간이 증가할수록 인장강도가 증가함을 알 수 있었다.

(3) A390의 경우 가열유지시간이 2분일 때 최고의 인장강도와 연신율을 가지나, 아공정합금에 비해 구상의 크기변화가 미소하며, 인장강도와 연신율의 변화도 적음을 알 수 있었다.

후 기

본 연구는 부산대학교 정밀정형 및 금형가공 연구센터를 통한 한국과학재단(KOSEF) 우수연구센터 지원금에 의한 연구의 일부분입니다.

참 고 문 헌

(1) L. Salvo, M. Suery, Y De. Charentenay and W Loue, "Microstructural evolution and rheological behavior in the semi-solid state of a new Al-Si based alloy", Proceedings of the 4th Int. Conf. on Semi-solid Processing of Alloys and Composites, pp. 10-15, 1996.

(2) ALTHIX Billets, Aluminium Pechiney, 1996.