

알루미늄소재의 반용융성형 공정에서 구상화의 크기가 기계적 성질에 미치는 영향

박상문* · 강충길**

The Effect of Globule size on the Mechanical Properties in Semi-Solid Forming of Aluminium Alloys

S.M. Park and C.G. Kang

Abstract

One of the factors influences on microstructure of semi-solid product is forging pressure. Generally, the more forging pressure makes the more fine microstructure in semi-solid compression test. The microstructure and mechanical properties were investigated according to the forging pressure. The applied pressure is 110MPa, 140MPa and 170MPa, respectively. Heat treatment conditions also influence to the microstructure and mechanical properties of semi-solid product. T6 heat treatment was performed and the evaluation of microstructure and mechanical properties was investigated according to the aging time in T6 heat treatment.

Key Words : Semi-solid Forming, Forging Pressure, Heat Treatment, Aging Time, Globule Size, Mechanical Property

1. 서론

반용융성형은 미세조직이 구상화되도록 전자기적 교반을 이용하여 제조한 빌렛을 재가열한 후 성형한다. 이때, 재가열 과정동안 가열온도와 가열유지시간 등에 의하여 초정 α 가 구상화되며, 가열유지시간이 길어질수록 조대화가 되는 등 재가열 조건에 따라서 미세조직이 변화하게 된다 또한 성형조건의 변화에 따라서 미세조직이 변화하게 된다. 위와 같은 재가열 및 성형공정에 있어서 구상화의 크기가 미세할수록 기계적 성질이 개선된다⁽¹⁾.

성형공정의 주요 변수로는 재가열조건에서 결정되는 소재의 온도(고상율), 성형속도, 압력 및 금형의 온도 등이 있다. 성형공정의 주요 변수로는 재가열조건에서 결정되는 소재의 온도(고상율), 성형속도, 압력 및 금형의 온도 등이 있다. 본 연구에서는 반용융성형시 성형압력이 구상화 크기에 어떠한 영향을 미치며, 또 그에 따른 기계적 성질의 변화를 파악하고자 하였다. 가압력을 각각 110MPa, 140MPa, 170MPa로 변화시켰을 때 기계적 성질과 미세조직의 관계를 조사하였다. 또한 반용융 성형품에서 가장 널리 쓰이는 열처리 방법인 T6열처리과정⁽²⁾

* 부산대학교 대학원 정밀기계공학과

** 부산대학교 기계공학부

에서 시효시간의 변화에 따른 미세조직과 기계적 성질의 변화를 구체적으로 조사하여 향후 부품설계에 활용될 수 있는 자료를 제공하고자 하였다. T6열처리에서 시효시간이 각각 4시간, 6시간, 10시간일 때 미세조직과 기계적 성질의 변화양상과 관계를 파악하였다.

2. 실험

2.1 반응용 성형

본 연구에서 사용한 소재는 프랑스 PECHINEY社에서 전자기교반을 이용해 제조한 ALTHIX[®]소재로 아공정합금인 357, 319와 과공정합금인 A390이다. 각 소재의 화학조성은 Table 1에 나타나있다.

Table 1 Chemical composition of aluminum alloys⁽³⁾

| | 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 |

반응용성형을 위해 200Ton용량의 복동 유압프레스를 사용하였으며, 제품성형시 가압력을 110MPa, 140MPa, 170MPa로 변화시켜가며 가압력에 따른 기계적 성질의 변화를 관찰하고자 하였다. 금형을 예열하기 위하여 1kW, ϕ 16mm의 카트리지 히터 12개를 사용하였다. 금형의 온도는 255 $^{\circ}$ C로 일정하게 유지하였으며, 이형제로는 건성흑연이형제를 사용하였다.

Table 2 Heat treatment condition for aluminum alloys

| | Solutionizing | | Aging | |
|------|----------------------|---------|----------------------|---------|
| | Temp.($^{\circ}$ C) | Time(h) | Temp.($^{\circ}$ C) | Time(h) |
| 357 | 540 | 6 | 170 | 4 |
| | | | 170 | 6 |
| | | | 170 | 10 |
| 319 | 505 | 6 | 170 | 4 |
| | | | 170 | 6 |
| | | | 170 | 10 |
| A390 | 495 | 6 | 170 | 4 |
| | | | 170 | 6 |
| | | | 170 | |

2.2 열처리

반응용성형 후 열처리 조건의 변화에 따른 기계적 성질의 변화를 관찰하기 위하여 용체화조건은 일정하게 하고 시효시간의 변화에 따른 시험편에 대하여 인장시험을 하였다. 시효처리시간의 변화를 보다 크게 하여, 시효

시간에 따른 인장강도와 연신율의 변화를 보다 구체적으로 살펴보고자 하였다. 357, 319, A390를 각각 540 $^{\circ}$ C, 505 $^{\circ}$ C 그리고 495 $^{\circ}$ C에서 6시간동안 용체화 처리한 후, 170 $^{\circ}$ C의 온도에서 시효시간을 4시간, 6시간, 10시간으로 변화시켜가며 인장시험 및 조직관찰을 하였다. Table 2는 각 소재별 열처리 조건을 나타낸 것이다.

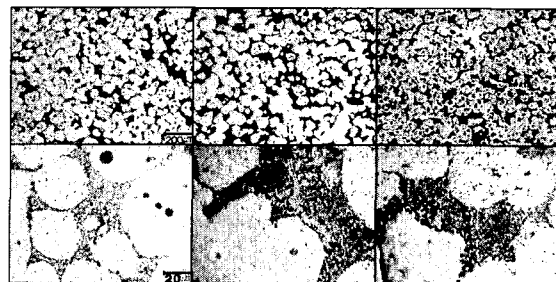
2.3 인장시험

인장시험편은 ASTM E 8M 규격으로 제작하였으며, 표점거리가 20mm, 직경이 4mm인 봉형시험편이다. 인장시험시 변형률 속도는 $0.5 \times 10^{-3} \text{sec}^{-1}$ 로 하였으며, 정확한 연신율을 측정하기 위하여 extensometer를 사용하여 연신율을 측정하였다. 측정된 값은 모두 진응력-진변형률 선도로 나타내었으며, 항복응력은 0.2% offset으로 표현하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 가압력에 따른 미세조직

반응용성형시 가압력을 각각 110MPa, 140MPa, 170MPa로 하여, 미세조직을 관찰하였다. Fig. 1은 357합금의 가압력의 변화에 따른 미세조직의 변화를 관찰한 것이다. 가압력이 변화하여도 구상화의 크기와 응집도는 거의 같으며, 공정 Si의 분포양상이나 크기가 거의 유사함을 알 수 있다.



(a) P=110MPa (b) P=140MPa (c) P=170MPa
Fig. 1 Microstructure of 357 alloy for variation of forging pressure

일반적으로 반응용 소재의 압축시험에서 고상율이 낮은 경우에는 가압력이 증가할수록 구상조직이 미세해지며 조밀해진다고 알려져 있으나, 본 실험에서는 가압력은 미세조직에 별다른 영향을 주지 못함을 알 수 있었다.

이러한 차이가 나타나는 이유는 본 성형실험에서는 소재를 금형에 주입하는데 시간이 약 7-8초 가량 지연되며, 금형과 펀치의 온도가 소재온도보다 낮으므로 가압

당시의 고상율은 50%이상으로 상승하게 된다. 이와 달리 반응용 압축실험에서는 편치를 소재의 온도와 동일하게 가열하며 소재주입 시 지연되는 시간이 없으므로 반응용 압축실험의 결과와 실제 반응용 성형에서의 결과가 상이한 것으로 사료된다. Fig. 2는 319합금의 가압력의 변화에 따른 미세조직의 변화를 관찰한 것이다. 357합금과 비교해 볼 때 전반적으로 비슷한 양상을 보이고 있으며, 가압력이 증가하여도 초정 α 의 크기, 응집도 및 공정조직의 Si입자의 분포양상이 357과 유사함을 관찰할 수 있었다.

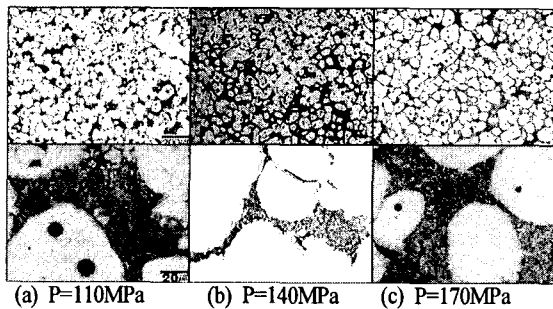


Fig. 2 Microstructure of 319 alloy for variation of forging pressure

Fig. 3은 390합금의 가압력의 변화에 따른 미세조직의 변화를 관찰한 것이다. 과공정합금인 A390합금도 아공정합금인 357과 319과 같이 가압력이 변화함에 따라 미세조직은 크게 변하지 않음을 알 수 있었다.

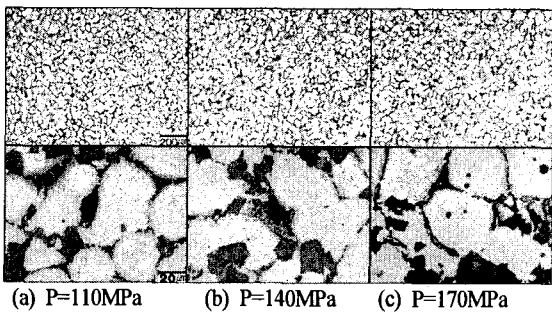


Fig. 3 Microstructure of A390 alloy for variation of forging pressure

3.2 가압력에 따른 인장시험

Fig. 4(a)는 357합금의 가압력별 응력-변형률선도를 나타낸 것이다. 가압력의 변화에 따라서 인장강도는 최대 8MPa정도의 차이를 보이고 있으며, 연신율은 1%정도로 작은 차이가 나타나고 있다. 가압력에 따라서 물성치가 일정하게 변화하는 양상은 나타나지 않았다. Fig.

4(b)는 319합금의 가압력별 응력-변형률선도를 나타낸 것이다. 인장강도는 가압력이 170MPa일 때 가장 높았으며, 연신율은 140MPa일 때 가장 높게 나타났다. 가압력에 따른 물성치의 차이는 크지 않음을 알 수 있었다.

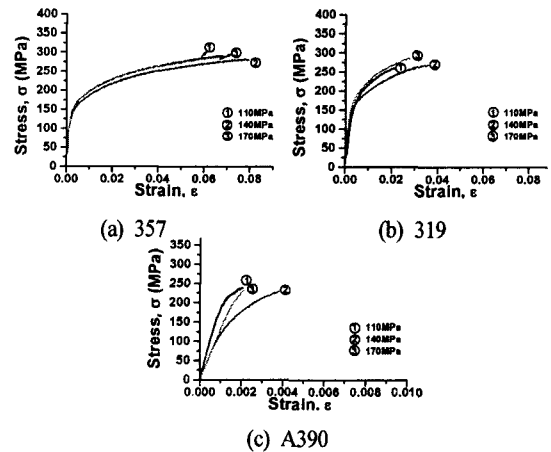


Fig. 4 Strain-stress curves for variation of forging pressure

Fig. 4(c)은 A390합금의 가압력별 응력-변형률선도를 나타낸 것이다. A390 또한 가압력에 따라 최대 10MPa 정도의 작은 인장강도의 차이가 있었으며, 가압력이 140MPa일 때 연신율이 다소 높게 나타났으나, 모든 경우에 0.5% 미만의 낮은 연신율을 나타내었다.

3.3 반응용 성형품의 열처리조건에 따른 미세조직

반응용성형품의 T6열처리과정에서 시효시간을 4시간, 6시간, 10시간으로 변화시켜가며 미세조직을 관찰하였다. Fig. 5는 357합금의 시효시간에 따른 미세조직의 변화를 나타낸 것이다. 열처리전의 공정상은 매우 미세하고 균일함을 볼 수 있었다. 시간이 지남에 따라 초정 α 의 결합 진행되고 있으며, 공정상의 Si입자들 또한 원형으로 결합되어 초정 α 사이에 분포함을 관찰할 수 있었다.

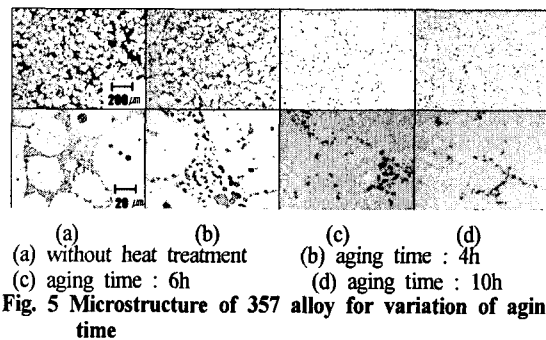


Fig. 5 Microstructure of 357 alloy for variation of aging time

Fig. 6은 319합금의 시효시간에 따른 미세조직의 변화를 나타낸 것이다. 357의 경우처럼 Si입자들이 초정 α 와 공정상의 경계면을 따라 원형으로 뭉쳐져가고 있음을 볼 수 있었다. 또한 357합금에서는 볼 수 없었던 현상으로, 319의 경우 시효시간이 증가할수록 초정 α 내부에 고립되어 있던 공정조직이 초정 α 내부에 고르게 분산되어가는 것을 관찰할 수 있었다. 이러한 현상은 319에 3%가량 존재하는 Cu성분이 분산된 것으로, 319합금은 Cu의 분산강화효과에 의해 T5 열처리만으로도 357합금의 T6열처리한 것에 근접한 강도를 얻을 수 있다.

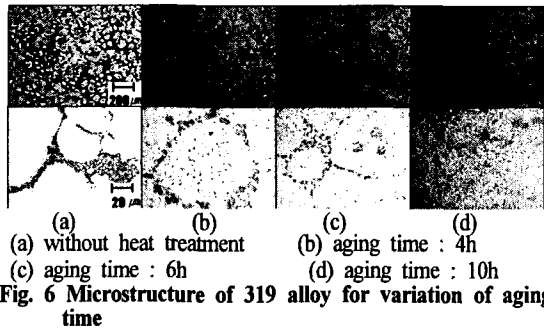


Fig. 6 Microstructure of 319 alloy for variation of aging time

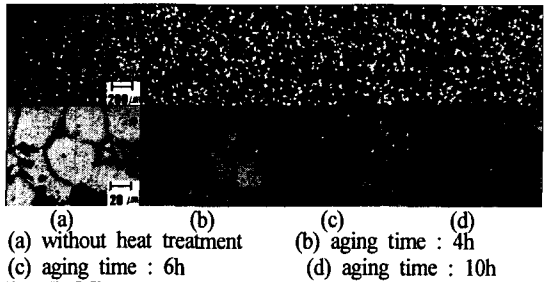


Fig. 7 Microstructure of A390 alloy for variation of aging time

Fig. 7은 A390합금의 시효시간에 따른 미세조직을 나타낸 것이다. T6열처리 후 Si입자들이 소재 전체에 걸쳐 고르게 분산되어 있음을 관찰할 수 있었으나, 시효시간의 변화에 따른 미세조직의 변화는 거의 없었다.

3.4 반응용 성형품의 열처리조건에 따른 인장시험

Fig. 8(a)는 357합금의 시효시간별 응력-변형을 선도이다. 170°C에서 시효처리할 경우 시효시간이 6시간일 때 최고의 인장강도와 연신율을 가짐을 알 수 있었으며, 시효시간이 10시간일 때는 항복강도는 감소하지 않으나, 인장강도와 연신율이 오히려 감소함을 알 수 있었다.

Fig. 8(b)는 319합금의 시효시간별 응력-변형을 선도이다. 357의 경우와 같이 6시간일 때 최고의 인장강도와

연신율을 가짐을 알 수 있었다. 시효시간이 10시간일 때 항복강도는 크게 증가하였으나 연신율이 많이 감소하는 경향을 관찰할 수 있었다. Fig. 8(c)는 390합금의 시효시간별 응력-변형을 선도이다. 시효시간이 증가함에 따라 연신율의 변화는 거의 나타나지 않았고, 인장강도는 시효시간이 6시간일 때 최고점을 나타내었다.

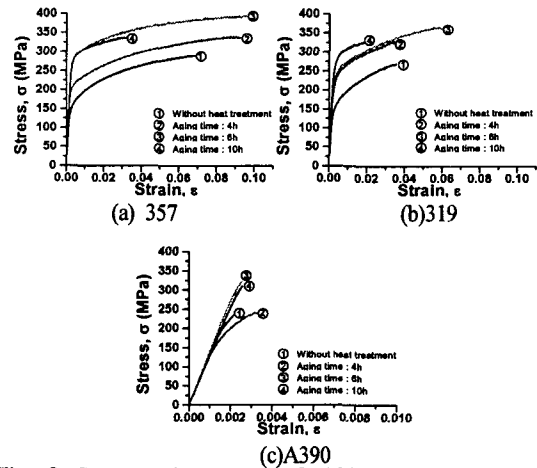


Fig. 8 Stress-strain curves of A390 for variation of aging time

4. 결론

반응용 성형변수에 따른 기계적 성질 및 미세조직을 조사한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

(1) 반응용 성형시 금형과 소재간의 큰 온도 차이와, 소재의 주입시 지연되는 시간에 의하여 고상율이 높아지므로, 일반적으로 알려진 반응용 압축시험에서의 결과와는 달리 가압력의 변화에 의한 기계적 성질의 변화는 크지 않음을 알 수 있었다.

(2) 반응용성형품의 열처리조건에 따른 기계적성질을 조사한 결과 357, 319, A390 모두 170°C에서 6시간 시효처리시의 기계적 성질이 가장 우수함을 알 수 있었다.

참고 문헌

- (1) Loué, W. R., Suery, M., 1995, "Microstructural Evolution during Partial Remelting of Al-Si7Mg Alloys", Materials Sci. & Eng. Vol. A203 pp.1~13.
- (2) Young, K. P., 1995, "SSM Casting Process: Application and Case Stories in Aluminum and Magnesium", NADCA Transactions, Indianapolis, Oct., pp.403~410.
- (3) ALTHIX® Billets, Aluminium Pechiney, 1996.