

주물 Preform을 이용한 단조 Lower Arm의 개발

이우식* · 김양묵* · 박병철* · 예병준**

Development of Forged Lower Arm using the Cast Preform

W. S. Lee, Y. M. Kim, B. C. Park and B. J. Lee

Abstract

Nowadays, cast ingots has been used as preforms for forging to reduce the cost and the number of processes. In this study, the forging ability of Al cast alloys was investigated by using hot compression tests. Hot compression behavior of the cast Al alloys has been studied. The flow stress increased by decreasing the compression temperature and by increasing the strain rate. In case of melt treatment, the flow stress decreased comparing to untreated A356.0 Al alloy. Also, We developed the various forged lower control arm using the cast preform. The optimum design of product and cast preform was investigated. After prototyping of Al forged lower arm, durability and buckling test were performed.

Key Words : Hot Compression Test, Flow Stress, Lower Arm, Cast Preform, Cast Forging, A356.0 Alloy, Melt Treatment, Durability Test, Buckling Test.

1. 서 론

Al 합금을 사용한 자동차 경량화 방법 중 주조법은 제조원가가 가장 낮고 대량생산이 용이하여 가장 경제적인 방법 중의 하나지만, 주조결함으로 인해 완성품의 기계적 특성이 떨어져 품질의 신뢰성이 낮으므로, 자동차의 보안 부품의 제조 공법으로는 아직 문제점이 많다. 이에 비해 단조법은 상대적으로 기계적 특성은 우수하지만, 공정이 복잡하고 여러 벌의 단조 금형이 필요하며, 재료 손실이 커서 생산비가 높은 것이 단점이다. 이에 최근 자동차의 보안 부품 제조시, 단조용 주물 preform을 먼저 제작한 후, 추후 단조공정을 통해 제품을 제조

하는 주조-단조법(Cast Forging Process)이 각광받고 있다^(1,2,3). 이 방법은 주조라는 복잡한 형상품의 가공 용이성과 단조라는 기계적 성질의 향상을 동시에 달성시킬 수 있으며, 비교적 저렴한 Cost로 대량 생산이 가능한 공법으로 최근 유럽과 일본 자동차 부품 메이커를 중심으로 활발하게 연구되어 오고 있다. 그러나, 주조-단조법은 단조공정의 단축으로 인해 절대 소성 변형량이 단축되므로, 다음과 같은 요구 조건이 선결되어야 한다. 먼저, 건전한 주물 preform의 제작이 우선 되어야 하며, 이를 위해 주조성이 우수한 소재가 사용되어야 한다. 두 번째로 주물 preform은 추후 거칠 단조 공정을 위해 우수한 단조성을 가진 재료이어야 한다. 세 번째로 재료

* (주) 화신 기술연구소

** 경북대학교 금속공학과

손실의 최소화 및 소성 변형량의 최대화를 위해 주물 preform의 최적 형상 설계와 단조 금형의 정밀 설계가 필요하며, 목적 부품의 기계적 특성을 만족시키는 재료를 선택하여야 한다^(1,4,5). 본 논문에서는 주조-단조법을 이용하여 개발된 자동차 Front Lower Arm의 개발 사례를 설명하고, 향후 주조-단조법 적용 부품의 확대 가능성을 타진하고자 한다.

2. 본 론

2.1 주조된 Al-Si-Mg계 합금의 고온 압축 거동

Si는 높은 용고잠열로 인해 주조용 Al 합금계에서 많이 사용되는 합금 원소이다. Mg은 첨가시 추후 열처리 공정을 통해 기계적 특성의 향상을 가능하게 하는 원소이다. 따라서, 본 실험에서는 주조용 합금의 고온 압축 변형 거동을 조사하기 위하여 현재 상용으로 많이 사용되고 있는 Al-Si-Mg계 합금을 주조하였다. 주조된 시편은 균질화 열처리를 실시한 후, 직경 8 mm, 높이 12 mm의 원통형 고온 압축 실험 시편으로 제작하였다. 고온 압축 시험 장비는 열간 가공 재현 시험기를 이용하였으며, 변형온도인 350-550℃까지 가열하여 10⁻²-10¹ /sec의 변형속도로 압축 변형하였다.

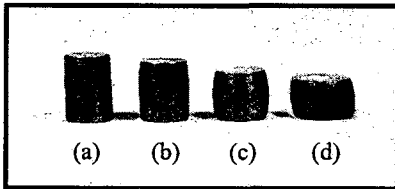


Fig. 1 Shape of the compressed specimen to various strain in Al alloy (450 °C, strain rate 1/sec)
 (a) 10% (ϵ : 0.2) (b) 18% (ϵ : 0.2)
 (c) 33% (ϵ : 0.4) (b) 50% (ϵ : 0.7)

Fig. 1은 압축 변형률의 변화에 따른 압축 시험편의 외관 형상 변화를 나타낸 사진으로 450 °C에서 1 /sec의 변형 속도로 압축하였으며, 진변형률을 기준으로 0.1, 0.2, 0.4, 0.7의 네 단계로 각각 변형률을 달리하여 압축 시험을 실시하였다. Fig. 2는 450 °C에서 1 /sec의 변형 속도로 압축한 Al-2Si-1Mg 합금계 시편의 50 % 압축 후 단면의 조직 사진으로 시편 내부에서 압축 변형을 받은 영역에서의 미세 조직을 나타낸 사진이다. 이 결과로 볼 때, 재료는 변형량이 커짐에 따라 수지상과 석출상들이 미세하게 분산된 압축 변형 조직이 나타났으며, 주조 조직은 최소한 30 % 이상의 압축 변형을 가해야 기존의 주조 조직이 파괴되어 비교적 균일한 변형 조직을 얻을 수 있음을 알 수 있었다.

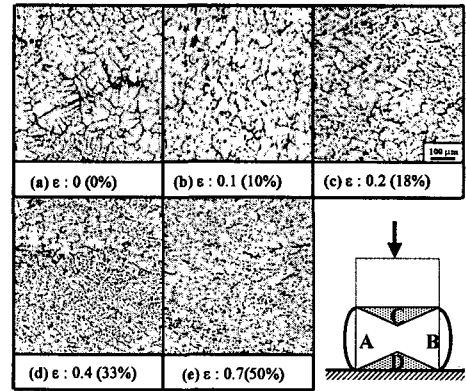


Fig. 2 Microstructures of the compressive tested at the different strain (450 °C, Strain rate 1/sec)

Fig. 3는 압축 온도에 따른 A356.0 합금의 고온 압축 거동을 진변형률에 따른 진변형 응력의 변화로 나타낸 결과이다. 변형 온도가 증가함에 따라 재료의 압축에 따른 진변형 응력도 크게 감소됨을 볼 수 있으며, 변형률의 증가에 따라 변형응력이 초기에는 급격히 증가하였다가 점차 가공경화 속도가 감소되어 거의 일정한 수준을 유지하는 전형적인 동적 회복형 거동⁽⁴⁾을 나타내었다.

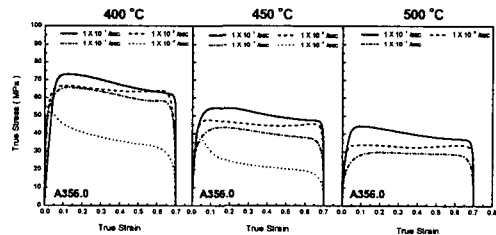


Fig. 3 The true stress - true strain curve of compressive tested at different temperatures

주조용 Al 합금은 주로 Al-Si계이며, 첨가된 Si은 용고시 판상으로 길게 성장되므로 압축 변형이 가해지는 단조 공정에서는 유동 응력의 증가 외에도 균열을 발생시켜 단조시 결함을 발생시킨다⁽⁵⁾. 그러므로, 본 실험에서는 A356.0 합금에서 공정조직 개량화와 결정립 미세화 처리와 같은 용탕 처리를 통해 주조 조직을 제어한 후, 이때의 압축 유동 응력 변화를 조사해 보았다. Fig. 4는 A356.0 합금에서 용탕 처리 전후에 따른 변형 속도 및 압축 온도에 따른 유동 응력의 변화를 나타낸 결과로서 400 °C의 온도에서는 용탕처리에 따른 조직 미세화로 인해 유동응력이 상당히 감소되는 결과를 볼 수 있었다.

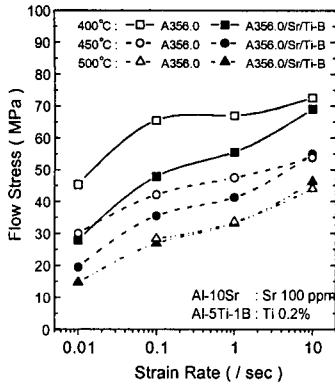


Fig. 4 The flow stress with the melt treatment

이로 볼 때, 일반적 열간 단조 온도인 400~450°C에서는 석출상의 형태가 유동 응력에 큰 영향을 미치며, 또한 이들은 단조시 결합을 유발하는 인자로의 작용도 가능할 것으로 보인다.

2.2 주-단조법을 이용한 Lower Arm의 개발

자동차의 Lower Arm은 다른 사시 부품에 비해 특히 제품의 신뢰도가 필요한 보안 부품으로 일반 주조 공정만으로는 제품의 신뢰도의 확보가 어렵다. 따라서, 본 연구에서는 주-단조 공법을 이용하여 경량 자동차 Lower Arm을 개발하고자 한다. 주-단조 공법은 단조 공정의 절감을 위해 먼저 정밀 설계된 급형을 이용하여 주물 Preform 주조한 후, 최종 1회의 단조 공정만으로 제품을 제조하는 방법으로 단조 공정의 획기적인 절감과 함께 사용 재료의 손실을 최소화 할 수 있는 신기술이다.

알루미늄은 기존 철계에 비해 소재의 물성이 낮고, 고강도 보안 부품인 Lower Arm의 알루미늄 소재 적용을 위해서는 부품의 최적 설계가 반드시 필요하다. 이를 위해서는 먼저 구조 해석을 통하여 제품의 강성 조건을 만족하는 최적 제품의 설계가 되어야 하며, 단조 후 제품의 빼기 구매 및 소성 변형량을 극대화한 제품의 구조적 형상을 만족하도록 설계되어야 한다. Fig. 5는 구조 해석을 통하여 설계된 알루미늄 Lower Arm의 예로서 단조품의 특성상 리브 구조를 이루고 있는 형상이다.

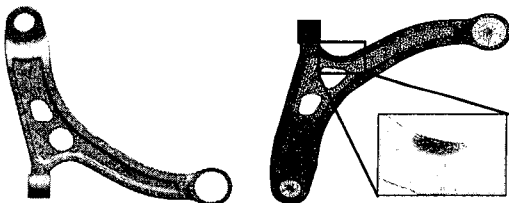


Fig. 5 Solid Model and Stress Analysis of Lower Arm

주-단조 공정의 예비성형체는 한번의 단조 공정만을 거치게 되므로 주물 결합이 없는 양질의 주물이어야 하며, 단조 공정의 단축으로 인한 소성 가공량의 감소를 최소화하기 위해 주어진 조건 하에서 최대의 소성변형이 가능한 형상으로 설계되어야 한다. 회수율의 증대를 위해 단조 후 loss를 최대한으로 줄인 형상으로 설계되어야 한다. Fig. 6는 설계 제작된 주물 Preform의 형상과 주조 결합의 제어를 위해 응고 해석을 선행하여 최적 주조 방안 설계한 결과를 나타내었다. 건전한 주조 조직의 확보를 위하여 탈가스, Sr 개량화처리 및 Ti-B 결정립 미세화처리 등의 용탕처리를 실시하였고, 주물 Preform의 주조 조직과 주조 결합을 최적으로 조절하였다.

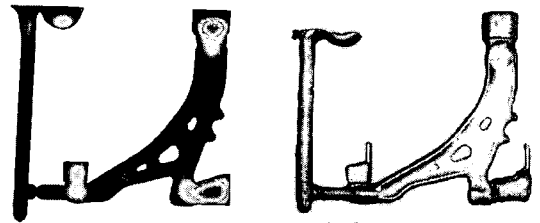


Fig. 6 Solidification analysis and cast preform

알루미늄은 기존 단조용 철계 소재에 비해 유동응력이 낮아 단조 온도의 설정에는 유리하나, 소재의 신을 저하에 따른 표면 파단의 제어를 위해서는 단조 속도와 온도의 적절한 설정이 필수적이다. 따라서, 다양한 단조 조건에 대한 Try Out을 통해 적절한 조건을 설정하였으며, 단조 후, 제품의 형상과 미세 조직의 변화를 Fig. 7에 나타내었다. Preform의 조직은 전형적인 Al-Si-Mg계 주조 조직을 나타내고 있으나, 단조 후, 열처리된 제품의 미세조직은 정출상인 Si이 완전히 미세하게 분산된 단조 조직을 나타내고 있음을 볼 수 있었다. 이로 볼 때, 주-단조법의 적용시 구조적으로 높은 강도가 요구되는 부위의 소성변형량을 극대화시키도록 설계하여 단조 시 기존의 다수의 단조 공정을 거치는 일반 단조의 고품위 재질을 주-단조 공정에서도 얻을 수 있음을 알 수 있었다.

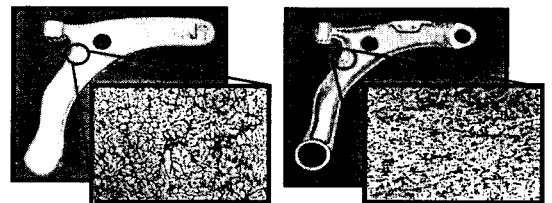


Fig. 7 Comparison of microstructure between cast preform and forged lower arm

Fig. 8은 주-단조 공법으로 제조된 Lower arm의 좌굴 시험 및 내구 시험을 위해 Setting된 장비를 나타낸 사진으로, 시험 결과 기존 양산 공법으로 제조된 제품의 시험 Spec.에 비해 더 높은 좌굴력과 내구 강도를 가지고 있음을 볼 수 있었다.



Fig. 8 Buckling and durability test of Aluminum cast-forged lower arm

3. 결론

알루미늄 주물 Preform을 이용한 자동차 Lower arm의 제조 기술 개발을 위해 여러 차종에 대한 시작품 제작을 실시해 보았으며, 각 공정별 주요 요소 기술을 개발하였고, 그 결과는 다음과 같다.

- (1) 주물용 알루미늄 소재를 이용한 단조 Lower arm의 개발을 위해서는 사용 소재의 구조성과 단조성을 모두 갖춘 소재를 사용하여야만 된다.
- (2) 주-단조 공법에서의 주물 Preform은 단조 공정의 단축으로 인해 단조시 소성변형량이 극대화되고, 소재의 loss가 극소화될 수 있도록 적절히 설계되어야 된다.

(3) 알루미늄은 기존 철계 단조 소재에 비해 유동 응력이 낮고, 단조 온도를 낮출 수 있어 금형의 수명등에는 좋은 장점을 갖추고 있으나, 소재 신율의 부족으로 인해 표면 Crack의 발생 가능성이 크므로 소재의 미세조직 관리와 적절한 단조 속도와 단조 온도의 조절이 필수적이다.

참 고 문 헌

- (1) 小笠原 明彦, 小野 博史, アルトピア, 1995, "An investigation of cast-forging process for the Aluminum forging suspension parts", Vol. 11, pp. 9.
- (2) T. Nishimura, 1997, "Cast and Forge Process", Vol. 47, pp. 587.
- (3) Le Borgne M., Exposito M., 1996, "Le procede COBAPRESS", Ingenieurs de l'Automobile, n 703, pp. 66-72.
- (4) Joy, V.A., Nair, C.G.K. Aluminum Alloys '90. 2nd International Conference on Aluminum Alloys, Beijing, China 9-13 Oct. pp. 772-778.
- (5) Metal Handbook, 9th ed, V14, pp. 241.
- (6) W. Roberts, 1984, "Deformation, Processing and Structure", ASM, Metal Park, Ohio, pp. 112.