

항공기용 알루미늄부품의 단조 공정설계연구

권영민* · 송정일** · 이영선*** 이정환***

Forging Process Design of Aluminium Alloys for Aircraft Parts

Y. M. Kwon, J. I. Song, Y. S. Lee and J. H. Lee

Abstract

Al ally 7050 has been developed for higher strength and improved property against stress-corrosion cracking. Since the use of this alloy becomes more important for forged aircraft structural components. ϕ 65mm extruded billet has been forged for a highly-stressed aircraft parts. After forging processing and heat treatment, the forged parts showed undesirable microstructure caused by severe local grain coarsening at the surface layer and heavily-localized metal flow, the analysis of resulted in degraded mechanical properties. The above results have been compared to simulation by using the DEFORM-3D and those showed the thermomechanical processing must be optimized in terms of forging temperature, strain rate and deformation amount. To prevent the grain coarsening at the surface layer ϵ heavily-localized grain flows.

Key Words : Process design, Aircraft parts, Grain coarsening, DEFORM-3D

1. 서론

항공기 산업에 사용되는 단조품들은 소재별로 분류하면 크게 기체부품에 주로 사용되는 알루미늄합금, 엔진 부품에 사용되는 티타늄합금과 내열합금으로 구분할 수 있다. 알루미늄 합금은 경량일 뿐 아니라, 열전도도, 전

기전도도, 내식성이 우수하고 비강도가 큰 특징을 가지고 있다. 특히 항공기 부품으로 사용되는 알루미늄 합금은 강도, 인성, 내응력부식 균열특성, 피로특성이 우수한 합금을 사용하여 재료의 신뢰성과 안전성을 확보해야 한다.⁽¹⁾ 일반적으로 열처리형 알루미늄합금은 시효경화특성을 이용하여 용체화열처리와 시효경화 처리에 의한 준안

* 창원대학교 기계공학과 대학원
** 창원대학교 메카트로닉스 공학부
*** 한국기계연구원

정 석출상의 형성으로 인하여 우수한 기계적 성질을 얻을 수 있다. 그러나 단조공정시 적절치 못한 공정조건하에서는 국부적으로 불균일한 변형과 조대결정립들이 생성되고 또한 Metal Flow도 불균일하게 된다.⁽²⁾ 이러한 조직은 단조품의 기계적 성질을 현저히 저하시키므로 이에 대한 방지 대책을 위한 단조 공정 설계가 요구된다. 이를 위해 본 연구에서는 3차원 유한요소해석과 모사 실험을 통해 공정변수를 선정하였다.

2. 항공기 부품의 단조공정설계

2.1 원소재

본 연구에 사용된 소재는 Al7050으로 내용력 부식 특성과 소입성 피로와 동적특성등을 개선하고자 개발된 합금으로서 연속주조, 균질화 열처리 후 8:1의 압출비로 압출 하였으며 열간단조 후 T7452 열처리를 이용하여 단조품을 제조한다. T7452는 470~480℃에서 용체화처리를 한 후 1~5%의 압축 가공 후 2단 시효처리(115~125℃에서 5시간 유지 후, 170~180℃에서 27시간 유지 후 공냉)⁽³⁾를 수행하는 열처리 조건으로 T7451의 인장 가공 대신에 압축가공을 하는 것이 특징이다. Al7050압출재의 화학 성분은 Table 1과 같고, Fig. 1에서는 압출방향에 따른 원소재조직을 나타내었다.

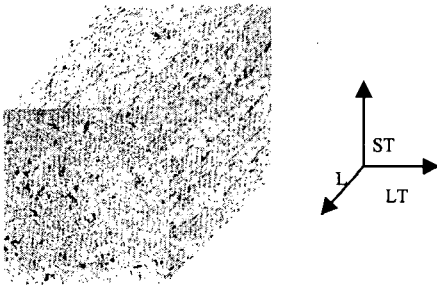
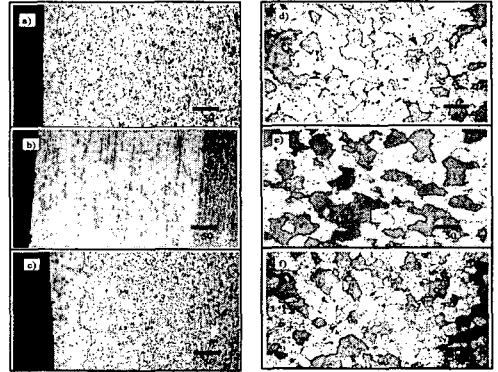


Fig. 1 Optical microstructure as extruded Al7050 (×500)

Table 1 Chemical composition of Al 7050 alloys

Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn
0.12	0.15	2.0-2.6	0.1	1.9-2.6	0.04	5.7-6.7
Ti	Zr	Al				
0.06	0.08-0.15	bal.				

2.2 항공기용 시계 Bracket류의 단조공정 설계
소재의 조직 관찰은 단조 공정의 선정과 최종 제품의 이상 조직 발생시 원인 분석을 위해 반드시 필요한 것으로 Fig. 2는 각 공정별 내외부조직을 나타내고 있다



a) As heated:450°C, 30min(Surface)
b) Solid solution treatment(Surface)
c) Aging treatment(Surface)
d) As heated:450°C, 30min(Core)
e) Solid solution treatment (Core)
f) Aging treatment(Core)

Fig. 2 Optical micrographs of heat treatment parts

Fig. 2의 공정 별 조직사진을 보면 알 수 있듯이 표면에 조대한 결정립 성장층이 발생됨을 알 수 있으며 이는 용체화 처리시에 발생되고 있다. 따라서 공정 변수를 변화시킨 후 용체화 처리 조직을 관찰하였다. Fig. 3은 450℃와 430℃에서 단조후 용체화 처리를 수행한 조직으로, 외부와 내부의 편차가 매우 큼을 알 수 있다. 용체화 처리는 477℃에서 2시간 유지 후 60℃온수 소입을 행하였다. 이와 같은 조직 편차가 시효 후까지 유지되면 부위별 특성의 차이가 발생되어 단조품의 특성 저하를 초래하게 된다. 이상의 조직 관찰 결과에 의하면 압출품의 변형량이 큰 외부와 변형량이 상대적 조직은 압출 가공시 외부과 내부의 변형을 차이에 의해으로 적은 내부의 조직 차이가 온도가 승온됨에 따라 차이가 더욱 더 심화되고 있음을 알 수 있다. 이러한 표면층의 결정립 조대화는 단조품의 특성(SCC, 피로)을 급격히 저하시키므로 그 방지 대책을 수립하는 것이 중요하다. 표면 결정립 조대화의 원인으로는 동적 재결정과 금형과의 표면 마찰등과 같은 여러 가지 원인이 있을 수 있으나 단조 소재로 사용되는 소재의 내외부 조직 편차의 존재가 근본적인 원인이 될 수 있다. 압출품의 표면 조직이 내부보다 미세한 상태에서 단조 후 열처리를 거치는 동안 조대



(a) Raw material (b) Forging temp. : 430 °C (c) Forging temp. : 450 °C
Fig. 3 The microstructure of raw material and forged part after solid solution treatment

화되었다는 것은 단조시에 동적 재결정이 발생된 후 결정립의 성장이 급격히 이루어졌다고 예측할 수 있기 때문이다. 이때, 압출품의 표면 조직이 미세한 상태는 그만큼 압출시 발생하는 에너지가 표면이 더욱 더 높기 때문이며 이는 동적재결정과 결정립 성장시 내부 보다 높은 에너지의 생성과 발산이 이루어질 수 있다는 것으로 정리할 수 있다.⁽⁴⁻⁶⁾ 따라서, 내외부 조직 편차가 적은 온도를 설정하는 것이 바람직하며 Fig. 3에서와 같이 단조온도가 저하될수록 표면층의 결정립 성장층 발생이 억제됨을 말해 주고 있다. 위의 결과로 단조온도를 430°C 이하로 설정하는 것이 바람직함을 알 수 있다.

한해 DEFORM-3D model로 나타내었다. 해석은 금형과 소재의 소재 온도는 450°C로 설정하였으며 미세한 부분까지 분석을 위해 요소 수는 표면 요소를 15,000개로 설정하였다.⁽¹⁰⁾ 단조가 진행됨에 따른 부위별 변형 양상과 변형을 분포는 Fig. 5와 같다. 그림에서 알 수 있듯이 결함 발생 없이 좋은 결과를 나타내고 있다. Fig. 6과 같이 온도 변화를 고려하기 위해 금형 온도는 200°C, 단조 소요 하중은 2,000톤 정도 소요되며, 제품의 온도는 국부적으로 510°C까지 상승되고 있음을 알 수 있다. 소재 온도가 510°C 정도에 도달하면 국부적으로 용융이 발생되므로 단조온도를 저하시켜야 함을 알 수 있다.

2.3 FWD Main Pintle의 성형해석

성형해석은 금속유동(Metal Flow), 변형율, 다이와 빌렛 사이의 접촉압력 분포를 예측하기 위해 강소성유한요소해석 프로그램(DEFORM3D)을 사용하였으며 개발 대상품은 3차원 형상이기 때문에 2차원 해석을 통해서는 정확한 분석이 어렵기 때문에 본 연구에서는 FEM 해석 프로그램 가운데 3차원 해석이 가능한 DEFORM-3D 프로그램을 이용하여 해석을 수행 하였다.⁽⁷⁻⁹⁾

Fig. 4는 3차원 해석을 위해 CATIA를 이용하여 Modelling한 소재와 금형의 형상을 STL파일형식으로 변

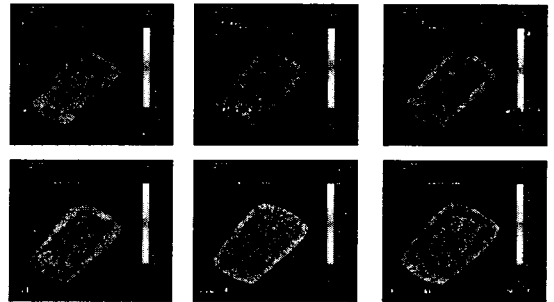


Fig. 5 Deformation and effective strain distribution for individual stroke

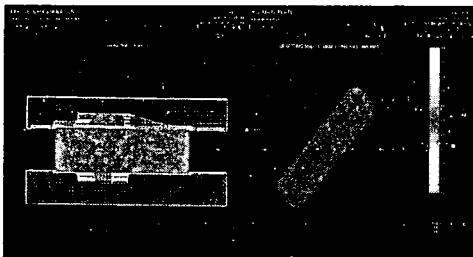


Fig. 4 DEFORM-3D modelling

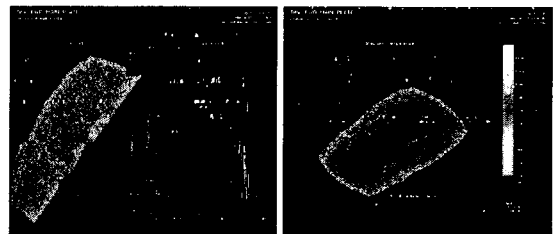


Fig. 6 Load and temperature distribution during forging stage

3. 결 론

본 연구에서는 항공기용 기체구조물간 결합부품인 FWD Main Pintle의 열간단조공정에 대한 공정별 열처리시의 조직변화 및 변형양상에 대하여 유한요소해석을 수행하였다. 이러한연구의 결과는 비선정 및 공정설계의 기초자료로 유용하게 활용될 것으로 예상되며, 주요결과들을 요약하면 다음과 같다.

(1) 단조온도를 450℃로 한 결과는 2단시효 후에 조직의 불균형을 나타내고 있고 430℃로 단조온도를 낮춘 경우는 결정립이 상대적으로 미세하므로 단조온도는 사용장비의 용량에 따라 가능한 한 낮은 단조온도를 설정하는 것이 바람직하다.

(2) 해석 결과로부터 얻은 성형하중은 항공기 부품의 제조를 위한 프레스선정의 기본자료로 활용이 가능하고, 온도분포성형에너지등은 제품 및 금형설계 등 공정설계를 위한 기초자료로 유용할 것으로 예측 된다.

참 고 문 헌

- (1) 이정환등, 1995, "KTX용 알루미늄 단조품개발", 한국기계연구원 연구보고서
- (2) W.Weroniski, A.Gontarz, Zb.Pater, 1999, "The reasons for structure defects arising in forgings of aluminium alloys analysed using the finite element method" J.Mats. Proc. Technol. 92-93 pp.50~53.
- (3) "Heat Treatment Aluminum Alloys", MIL-H-6088G
- (4) 김성일, 정태성, 유연철, 오수익, 1999, "Al6061 합금의 고온 소경변형 조건의 예측" 한국소성가공학회지, 제8권, 제6호, pp.576~581.
- (5) C. M. Sellars, 1990, Mater. Sci. Tec., VOL. 6 p.1072.
- (6) A.J.Ardell, 1985, Metall. Trans., 16A, p.2131.
- (7) S.I. Oh, et. al., 1991, "Capabilities and Applications of FEM code DEFORM: the perspective of the developer", J.Mat.Proc. Tech.
- (8) C.C. Chen and S. Kobayasi, 1978, "Rigid-plastic finite element analysis of ring compress", Application of Numerical Method To Forming Process, ASME, AMD, VOL.28.
- (9) A.L. Kolmogorov, S. P. Burkin and N.A. Babailov, 1996, "Automated Forging Center as Renaissance of Hammer Forging in Heavy Industry" Journal of Materials Processing Technology Vol.56, pp.631~642.
- (10) Nobuki Yukawa, Mitsuhiro Okatsu, Keiichiro Ohkawa, Takashi Ishikawa and Takashi Jimman "Three Dimensional Rigid Plastic FEM Analysis with Adaptive Remeshing Method", University of Nagoya