

Ti-6Al-2Sn-4Zr-6Mo 합금의 압축거동에 미치는 온도 및 변형속도의 영향 (The effects of strain rate and temperature on the compressive deformation behavior of Ti-6Al-2Sn-4Zr-6Mo Alloy)

한국기계연구원 현용택, 이용태 창원대학교 이찬규

1. 서론 :

Ti-6Al-2Sn-4Zr-6Mo(Ti6246) 합금은 단시간의 높은 강도와 우수한 고온 특성으로 인하여 항공기 엔진의 압축기용 디스크 소재로 이용되고 있다. 이와같은 부품은 대부분 단조공정으로 제조되는데, 최근에는 단조 공정 모델링 등을 통해 최적의 가공조건을 선정하고 있다. 이와같은 모델링을 통해 효과적인 가공열처리 조건을 선정하기 위해서는 여러 가지 공정 변수에 대한 확실한 이해와 더불어 합금의 변형 거동에 대한 체계적인 연구가 요구된다.

본 연구에서는 Ti-6246합금의 고온 압축실험을 통해 단조공정 모델링을 위한 data base를 마련하고, 온도, 변형속도 및 변형량에 따른 합금의 미세조직 변화를 조사하여 변형기구를 규명함으로써 이 합금의 고온 변형거동을 이해하고자 하였다.

2. 실험 방법 :

본 실험에 사용된 소재는 직경 150mm의 미국 HOWMET사에서 제조된 잉고트를 이용하여 으며, 원소재의 미세조직은 약 26%의 부피분율을 갖는 등축의 초정 α 상과 74%의 부피분율을 갖는 Widmannstätten 조직의 혼합조직으로 이루어진 것을 알 수 있었다. Ti6246 합금의 고온 변형 거동을 조사하기 위하여 사용된 압축시편은 잉고트의 일정 부위에서 같은 방향으로 직경 8mm, 높이 12mm의 원통 형상으로 가공한 것을 이용하였다. 압축시험은 800~1000°C의 온도 범위에서 50°C간격으로 수행하였고, 변형속도는 $10^{-3}/\text{sec}$ ~ $10^0/\text{sec}$ 의 범위에서 시험을 하였다.

3. 결과 및 고찰 :

3.1. 유동곡선 분석 : 고온 압축시험을 통하여 얻은 Ti-6246합금의 진응력-진변형 곡선으로부터 전체적으로 유동응력은 온도가 증가함에 따라 감소하는 것을 관찰할 수 있었으며, 800°C~900°C의 온도 범위에서 유동응력은 변형 초기 가공경화에 의해 급격히 증가하여 최대점에 도달 후 점차적으로 감소하는 연화 현상을 나타내었다. 그렇지만 이 합금의 β 변태온도인 약 950°C 이상에서는 최대 응력에 도달 후 거의 일정한 응력 상태가 유지되는 것을 알 수 있었으며, 최대 응력도 거의 유사한 값을 갖는 것을 알 수 있었다. 또한 변형속도가 증가함에 따라 최대 응력값도 증가하는 것을 알 수 있다. 800°C~900°C의 영역에서는 유동응력이 급격히 감소하였는데, 그 정도는 변형속도가 증가할수록 더욱 커졌다. 그렇지만 β 변태 온도 근처인 약 950°C 이상에서는 유동응력의 변화가 크지 않은 것으로 나타났다. 따라서 $\alpha+\beta$ 영역에서 유동응력은 온도에 크게 의존하지만 β 영역에서는 유동응력은 온도에 따라 큰 변화가 없는 것으로 나타났다. 또한 β 영역에서보다 $\alpha+\beta$ 영역에서 유동응력의 온도 의존성이 높기 때문에 β 영역에서의 활성화에너지는 낮은 것으로 추측할 수 있다.

3.2. 구성방정식 모델 : 재료의 고온 변형은 열적 활성화 과정으로 변형속도($\dot{\epsilon}$), 유동응력(σ) 및 온도(T)의 관계를 이용하여 유동 응력곡선에 대한 분석을 행하였다. 그 결과 Ti 6246 합금의 경우에는 실험 온도 범위에서 멱수 법칙이 가장 잘 일치하는 것을 알 수 있었다. 멱수 법칙으로부터 구한 n 값은 800°C, 850°C, 900°C, 950°C, 1000°C에서 각각 4.5, 4.7, 4.5, 4.2, 3.5로 다른 관계식에 비하여 비교적 잘 일치하는 것으로 나타났다. 따라서 Ti-6246합금의 유동곡선은 멱수 법칙으로 유동응력, 변형속도 및 온도와의 관계를 설명하는 것이 적절하다고 할 수 있다. Ti-6246합금의 열간가공시 필요한 활성화 에너지 Q값은 평균 445kJ/mol 이었다. 이 값은 S. Tangrila 등이 Ti-6Al-4V(ELI) 합금에 대하여 조사한 251 kJ/mol 보다 높게 나타났는데 이는 동적재결정의 발생에 기인한 것으로 여겨진다.