

소형가스터빈 디스크의 열간단조

차도진[#], 송영석¹, 김영득¹, 김동권¹

The Hot Forging of Small Size Gas Turbine Disks

D. J. Cha, Y. S. Song, D. K. Kim, Y. D. Kim

Abstract

Small size gas turbine disk requires good mechanical strength and creep properties at high temperature. In this study, Waspaloy was used as a superalloy to satisfy these specifications. The control of microstructure was needed to satisfy material properties at high temperature. In order to do this, we studied forging conditions and material analysis. Therefore die and preform design conducted so that hot forged gas turbine disk could have a good microstructure. The die and preform shapes are designed with consideration of the predefined hydraulic press capacity and the microstructure of forging product. Also we carried out the hot compression test for Waspaloy in various test conditions. From these results, we obtained the forging conditions as material temperature, die velocity etc. To verify these forging conditions, we conducted FE simulations by means of the DEFORM 2D-HT. In this study, the hot closed die and preform designs were completed to offer high temperature material properties of a small size gas turbine.

Key Words : Gas Turbine Engine, Waspaloy, Hot forging, FE simulation

1. 서론

가스터빈엔진은 압축기에서 압축된 공기의 동작유체를 연소기에서 가열하여 터빈을 회전시키는 형식의 원동기다. 가스터빈엔진의 효율 및 성능은 터빈입구온도에 따라 좌우되며, 높은 열효율을 얻기 위하여 터빈입구온도를 상승시켜야 한다. 이를 위하여 고온강도를 유지할 수 있는 니켈 합금이나 코발트 합금과 같은 내열성이 우수한 재료가 터빈부품에 응용되고 있다.

가스터빈엔진 부품 중 터빈 디스크는 운전 중에 높은 응력을 받는 부품으로서 운전시에 요구되는 고온강도를 만족시키기 위하여 초내열합금 소재를 사용하여야 한다. 따라서 제조 비용 절감을 위한 공정 설계 및 고온강도 등의 요구 성능을 만족시키기 위한 미세조직 예측 등의 정밀단조기술이 요구된다.

Altan 등[1]은 Waspaloy 에 대한 재결정 모델을 제안하였다. Zhang 등[2]은 IN718 의 열간성형공정 중의 결정립 크기와 열간성형공정 후의 holding time 에 따른 결정립 크기에 대해 연구하였다. Medeiros 등[3]은 IN718 의 준정적재결정 모델에 대해 연구하였다. Cho 등[4]은 viscoplastic FE method 를 사용하여 Al-5wt.%Mg 의 미세조직 거동에 대한 연구를 하였다. Kim 등[5]은 exhaust valve heads 의 열간 단조 공정에 Nimonic 80A 를 적용하였다.

본 연구에서는 니켈기 합금인 Waspaloy 를 사용하였으며, 소재에 대한 고온 변형 거동을 파악하여 열간 단조 조건을 수립하기 위하여 고온압축시험을 수행하였다. 이를 통해 소재의 특성에 적절한 금형 및 예비

1. 두산중공업, 기술연구원 소재개발센터

차도진: 두산중공업, 기술연구원 소재개발센터, E-mail:dojin.cha@doosan.com

성형체 설계를 수행하는데 사용하였다. 초내열합금 소재의 디스크 열간단조 공정설계를 위하여 유한요소 해석을 수행하였다. 이러한 결과들을 종합적으로 고려하여 단조 조건을 수립하였으며, 금형과 예비성형체를 제작하였다. 실제 열간단조 결과와 유한요소해석 결과를 비교하여 유한요소해석결과에 대한 검증을 하였다. 본 연구를 통해 소형가스터빈의 터빈 디스크에 대한 초내열합금 열간단조를 수행하였으며 단조품에 대한 기본 물성과 미세조직을 평가하였다.

2. 본 론

2.1 고온압축시험

열간 상태에서의 예비성형체 소재의 유동응력과 미세조직의 거동을 분석하기 위하여 고온압축시험을 수행하였다. 시편은 직경8mm와 높이 12mm인 원통형 형상이다. 시험은 소재온도 950~1200℃ 범위에서 strain rate는 0.05~5(1/sec)의 범위에서 압축비 50%의 조건으로 수행되었다. Fig. 1은 고온압축시험의 개략적인 다이어그램을 나타내었다. 시편의 가열 동안에 온도를 측정하기 위하여 열전대를 시편의 표면에 붙였다. 고온압축시험 후, 재결정된 미세조직 상태를 유지하기 위하여 질소가스를 이용하여 급냉시켰다.

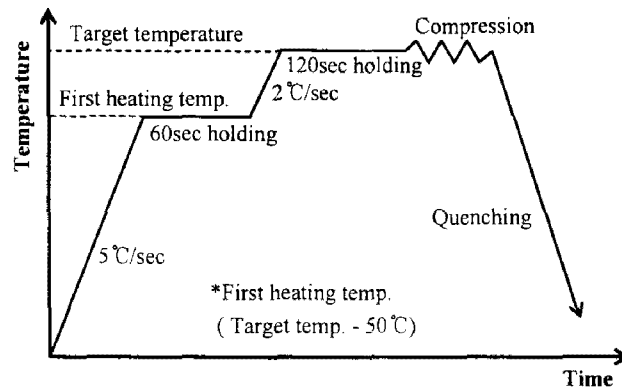


Fig. 1 Schematic diagram of hot compression test

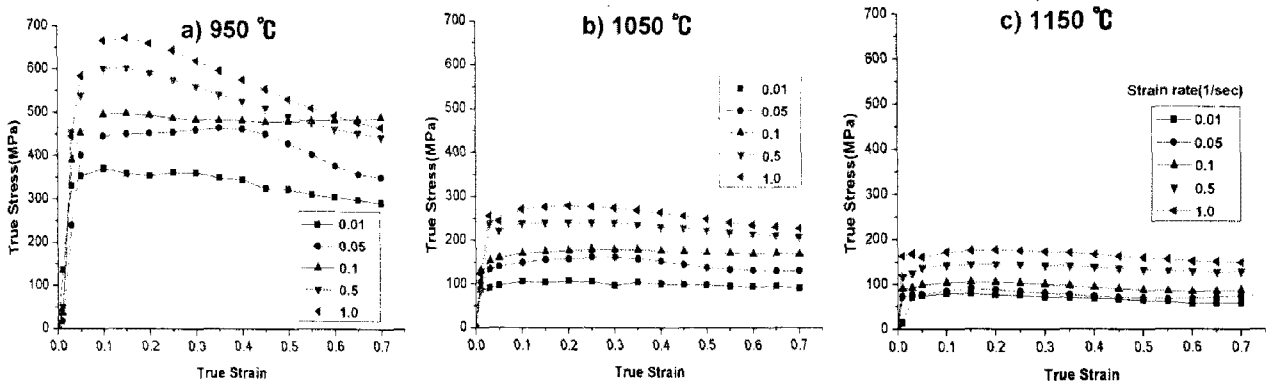


Fig. 2 Flow stress curves of Waspaloy in various strain rates and temperatures

고온압축시험 결과, Waspaloy의 동적재결정은 온도, 변형률 그리고 변형률 속도의 함수로 나타낼 수 있다. Fig. 2는 고온압축시험한 Waspaloy의 유동응력선도를 나타낸다. 유동응력은 온도가 증가할수록 증가폭이 줄어들며, 변형률 속도가 빠를수록 증가폭이 늘어난다. 또한 일정한 변형률 속도 이상에서 유동응력의 증

가폭이 급격하게 증가함을 알 수 있다. 소재의 온도는 1050℃ 이상에서 유동응력이 거의 유사한 경향을 보였다. 또한 미세조직 분석 결과, 각 변수에 따른 재결정 발생정도를 파악할 수 있었다. Fig. 3은 변형률 속도 0.05(1/sec)이고 압축비 50%일 때 각 온도에서의 미세조직사진이다.

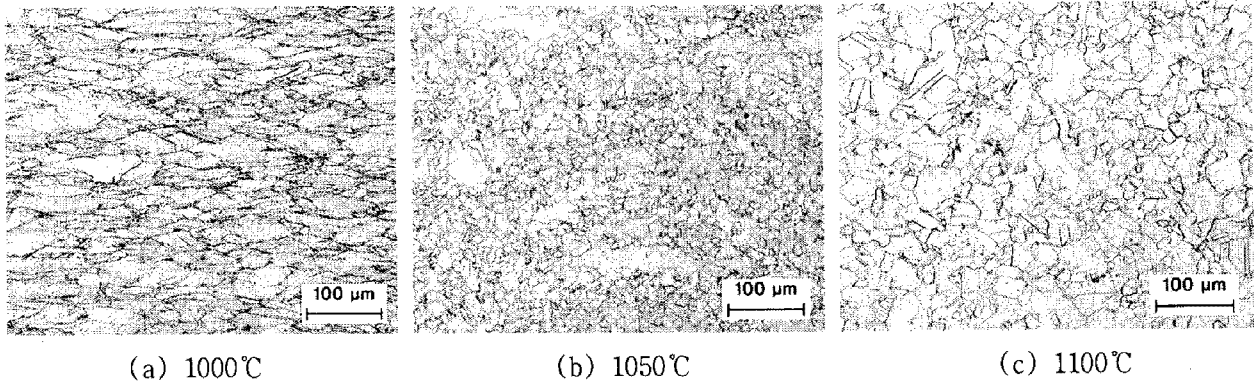


Fig. 3 The Waspaloy microstructures tested hot compression test in each temperature conditions with strain rate 0.05, compression ratio 50%

2.2 단조공정의 유한요소해석

본 연구에 사용된 디스크 형상은 Fig. 4와 같이 축대칭 형상이므로 2차원 프로그램을 사용하였다. 미세조직에 대한 결과를 얻기 위하여 DEFORM2D-HT 프로그램을 사용하였다. 예비성형체와 금형을 단조하중과 재결정 분율의 측면에서 최적화 하였다. Fig. 5는 재결정분율, 변형률 및 온도 분포를 나타낸 성형해석 결과이다.

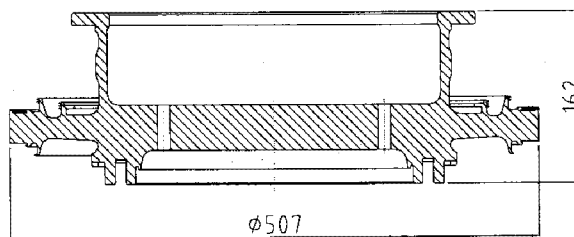


Fig. 4 The product geometry of gas turbine disk

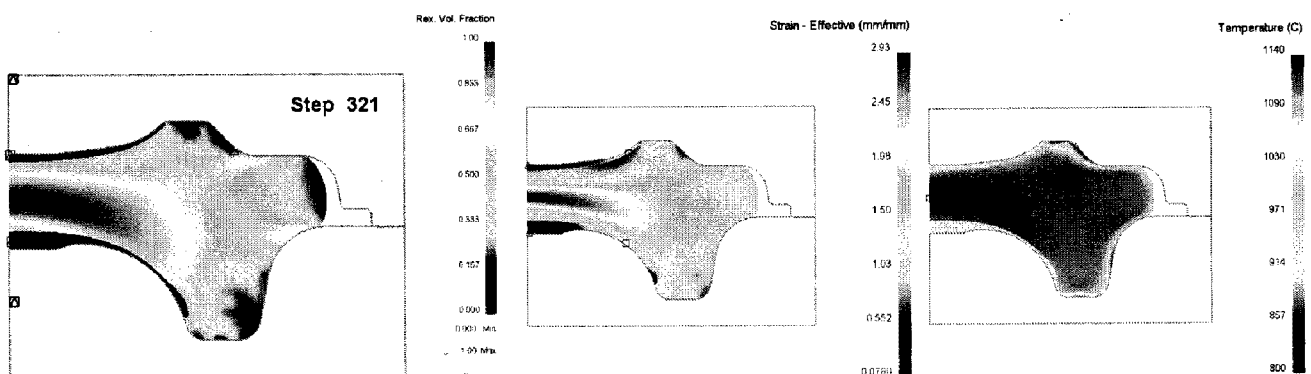


Fig. 5 The result of FE analysis for gas turbine disk

2.3 디스크 열간단조 결과

소재에 대한 분석과 단조공정의 해석결과를 종합하여, 금형을 제작하고 실제 열간단조를 수행하였다.

Fig.6은 디스크 형단조 결과와 각 부위에서의 미세조직의 결과이다. 성형해석을 통해 얻어진 미세조직 예측 결과와 실제 단조 결과는 유한요소해석이 보수적인 점을 고려한다면, 유한요소해석은 미세조직예측이나 단조공정설계에 이용될 수 있다고 판단된다.

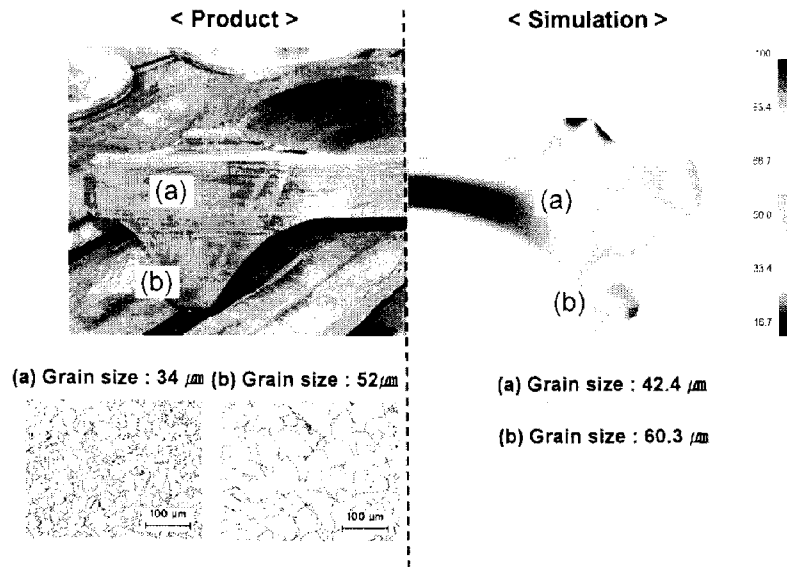


Fig. 6 The comparison of FE analysis and forged results for gas turbine disk

3. 결 론

본 연구를 통해, 소형가스터빈의 터빈 디스크에 대한 열간단조 공정을 개발하였다. 터빈 디스크 소재인 Waspaloy의 적절한 초기 소재온도와 디스크 단조에 적절한 변형률 속도를 설정하였다. 이러한 단조 조건을 수립하여 디스크 열간 단조에 적절한 금형과 예비성형체를 설계하였다. 실제 열간단조를 수행하고 성형해석결과와 비교하여 해석의 타당성을 검증하였다.

후 기

본 연구는 전력산업기반센터(ETEP)의 지원으로 수행되었습니다.

참 고 문 헌

- [1] T. Altan, G. Ngaile, G. Shen, COLD AND HOT FORGING – Fundamentals and Applications, ASM INTERNATIONAL, 2004, 247-255.
- [2] J.M. Zhang, Z.Y. Gao, J.Y. Zhuang, Z.Y. Zhong, Grain growth model of IN718 during holding period after hot deformation, Journal of Materials Processing Technology, Vol.101, 2000, 25-30.
- [3] S.C. Medeiros, Y.V.R.K. Prasad, W.G. Frazier, R. Srinivasan, Microstructural modeling of metadynamic recrystallization in hot working of IN 718 superalloy, Materials Science and Engineering, Vol.A293, 2000, 198-207.
- [4] J.R. Cho, W.B. Bae, W.J. Hwang, P. Hartley, A study on the hot-deformation behavior and dynamic recrystallization of Al-5wt.%Mg alloy, Journal of Materials Processing Technology, Vol.118, 2001,356-361.
- [5] D.K. Kim, D.Y. Kim, S.H. Ryu, D.J. Kim, Application of Nimonic 80A to the forging of an exhaust valve head, Journal of Materials Processing Technology, Vol.113, 2001, 148-152.