

# 유한요소법을 이용한 Waspaloy 열간단조에서의 결정크기에 대한 연구

## A study on grain size of Waspaloy for hot-forging using FEM

\*하진수<sup>1</sup>, #허관도<sup>2</sup>, 예상돈<sup>2</sup>

\*J. S. Ha<sup>1</sup>, #K. D. Hur(kdhur@deu.ac.kr)<sup>2</sup>, S. D. Ye<sup>2</sup>

<sup>1</sup>동의대학교 기계공학과, <sup>2</sup>동의대학교 기계공학과

Key words : Waspaloy, Hot-forging, Grain size, Finite Element Method(FEM)

### 1. 서론

최근 항공우주 산업의 활발한 발달은 이에 사용되는 부품의 소재에 대한 관심으로 이어졌다. 항공 우주용 부품뿐만 아니라 가스터빈, 열교환기 부품의 소재는 고온에서 작동되기 때문에 고온강도를 유지할 수 있는 합금을 사용하고 있다. 특히, Waspaloy는 니켈 계 초합금으로 고온강도를 유지하며, 내식성 및 내열성이 좋으며, 크리프에 대한 저항성이 뛰어나 가스터빈, 항공우주용 부품 등에 많이 사용되고 있다. Waspaloy와 같은 초합금은 열간단조가 흔히 수행되며, 이러한 소재의 열간단조에서 중요하게 작용되는 점은 결정립 크기이며, 이는 결정립 크기에 따라 기계적 특성이 다르기 때문이다. 결정립 크기가 작으면 인장강도와 연신율이 뛰어나며, 결정립 크기 다소 클 경우, 크리프 특성과 균열에 대한 저항성이 우수한 것으로 알려져 있다. 열간단조를 통한 입자 크기의 변화는 동적 재결정에 의해 주로 발생된다. 동적 재결정은 변형율이 임계 변형율 보다 큰 경우 발생하게 되며, 임계 변형율 및 재결정 분율 등을 예측하는 것은 재결정 모델에서 중요한 부분이다.

본 연구에서는 Waspaloy의 유한요소해석을 통한 열간단조를 했을 경우, 소재의 변형에 따라 나타나는 변형율 속도에 따른 입자 크기를 비교 분석하였다. Waspaloy에 대한 유한요소해석은 단조해석의 상용 소프트웨어를 사용하였으며, 온도 변화를 위해 열전달 해석을 수행하였다. 열전달 해석 후, 성형을 통한 소재의 온도와 변형율 속도에 따른 입자 크기 및 입자 크기 분포를 예측하였다.

### 2. Waspaloy의 유한요소해석

Waspaloy의 각기 다른 초기 온도와 변형율 속도에 따른 입자 크기의 파악을 위해 유한요소해석을 수행하였다.

유한요소해석을 위한 소재 및 금형의 형상은 대칭 조건에 맞게 단순화 하였으며, Fig. 1에 나타내었다.

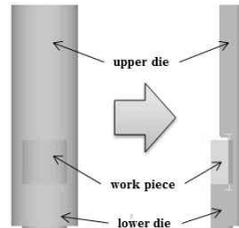


Fig. 1 The schematic view of the die and work piece.

Waspaloy의 재결정 거동을 파악하기 위해 소재에 열전달 해석 후, 단조 해석을 수행하였다. 해석에 필요한 미세조직 변화 모델의 물성치는 Shen의 논문에서 인용되었다.<sup>[1]</sup>

Table 1은 미세조직을 예측하기 위한 해석의 조건을 나타내었다.

Table 1 Boundary conditions

	Value	Unit
Work piece temperature	950, 1000, 1050	°C
Die temperature	538	°C
Upper die velocity	10	mm/s
Heat transfer coeff.	5	N/mm sec °C
Initial average grain size	115	µm

소재의 온도는 950°C, 1000°C 및 1050°C 이고, 금형의 온도는 538°C 를 적용하였다. 열진달 해석을 위한 열진달 계수는 5 N/mm sec °C 를 적용하였으며, 소재의 초기 평균 입자 크기는 115µm 으로 Amir Amiri 의 논문에서 인용하였다. [2]

### 3. Waspaloy 의 유한요소해석 결과

Waspaloy 의 온도와 변형률 속도에 따른 입자 크기를 나타내기 위해 유한요소해석을 수행하였다. 변형이 가장 많이 일어나는 위치에 온도와 변형률 속도에 따른 입자 크기를 분석하기 위해 소재의 중심에서 바깥쪽 방향으로 경계를 따라서 15 개의 포인트를 일정한 간격으로 적용하였고, Fig. 2 에 나타내었다.

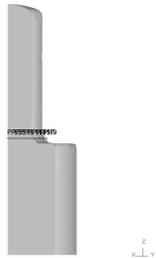


Fig. 2 Measurement of strain rate and average grain size.

적용된 포인트는 950°C, 1000°C 및 1050°C 에서 같은 변형을 가지는 스텝의 변형률 속도에 따른 입자 크기를 비교 분석하여 Fig. 3 에 나타내었다.

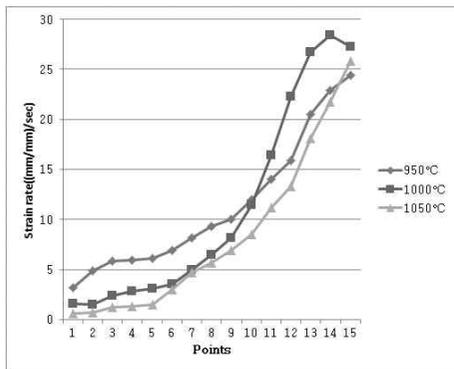


Fig. 3 The strain rate according to measurement points.

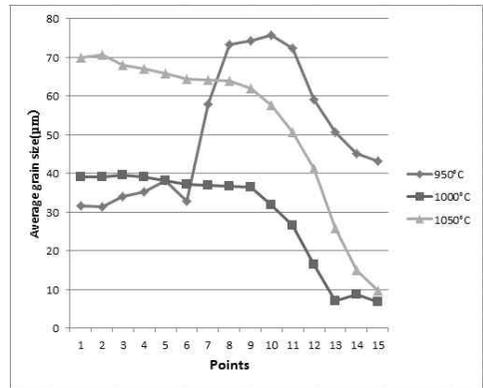


Fig. 4 The average grain size according to measurement points.

Fig. 3 과 Fig. 4 를 비교 해보면 950°C 에는 변형률 속도와 입자 크기의 연관성을 크지 않다. 즉, 이 스텝에서 소재에 균일한 변형이 일어나지 않았다는 것을 의미한다. 그에 비해 1000°C 와 1050°C 에서는 변형률 속도가 상승할수록 입자 크기가 작아지는 것을 볼 수 있고, 1000°C 에서 변형률 속도에 따른 입자의 크기가 1050°C 보다 균일하게 나타난 것을 Fig. 4 의 그래프를 통해 볼 수 있다.

### 4. 결론

본 연구는 Waspaloy 의 온도와 변형률 속도에 따른 입자의 크기를 유한요소해석을 통해 비교 예측하였다. 소재의 온도가 1000°C 일 때 변형률 속도에 따른 입자크기가 작으며 가장 균일하게 나타났다. 이것은 Waspaloy 의 열간 단조 공정에서 온도와 변형률 속도에 따른 입자크기의 연관성을 보여주는 것이며, 950°C 일 때, 변형률 속도와 입자크기의 연관성이 크지 않다는 것을 알 수 있었다.

### 참고문헌

- G. Shen, "Modeling Microstructural Development during the Forging of Waspaloy, ph. D. thesis, The Ohio State University, Columbus Ohio, 1994.
- Amir Amiri, Stefania Bruschi, Mohammad Hossein Sadeghi, Paolo Bariani, "Investigation on hot deformation behavior of Waspaloy," Mater. Sci, 562, 77-82, 2013.