

Al 6061 의 수냉 시 Boiling 현상을 고려한 유한요소해석 및 검증

Finite Element Analysis and Experiment Considering Boiling Phenomenon during the water quenching of Al 6061

*황성준¹, 고대훈¹, #김병민²

*S. J. Hwang¹, D. H. Ko¹, #B. M. Kim(bmkim@pusan.ac.kr)²

¹부산대학교 대학원 정밀가공시스템 전공, ²부산대학교 기계공학부

Key words : Al6061, Boiling, Water quenching, FE-simulation

1. 서론

알루미늄 열처리에는 강도, 경도 등 최적의 기계적 특성을 얻기 위한 일련의 과정이다. 따라서 온도, 시간, 냉각 유체 등의 열처리 조건에 대한 특성 파악이 중요하며 이는 유한요소해석을 통한 열처리 공정해석이 필수적이다.

최근 유한요소해석(FE-simulation)은 상변태, 잔류응력 예측 등의 다양한 열처리 분야에서 적용되고 있다[1]. 하지만 대부분의 열처리 해석은 알루미늄의 용체화처리 시, 비점 이상으로 가열된 냉각 유체가 끓는(Boiling) 현상 등의 실제 현상학적인 요소들을 배제한 경우가 대부분이다[2]. 따라서 실제 열처리 시, 발생하는 물리적인 요소들을 고려하여 해석결과의 정도를 향상시킬 필요가 있다.

본 논문에서는 $\Phi 200\text{mm}$ 의 Al6061 대형튜브의 수냉(Water quenching) 시 발생하는 유체의 보일링 현상을 고려하여 유한요소해석을 수행하였다. 이에 따라 보일링 현상의 고려한 경우와 고려하지 않은 경우에 대하여 해석을 통해 튜브의 냉각온도를 각각 파악하였다. 또한 열처리 실험을 수행하고 해석결과와 비교하여 보일링 현상을 고려한 유한요소해석 결과의 타당성을 확인하였다.

2. Al6061 의 열처리 실험

본 연구에서는 Al6061 의 수냉 시, 냉각온도를 파악할 목적으로 열처리 실험을 수행하였다. 실험에서 고려한 시편의 형상, 치수 및 온도측정 지점을 Fig. 1 에 나타내었다. 실험 조건은

Al6061 용체화처리의 일반적인 조건을 적용하여 530°C 까지 가열한 뒤 상온(25°C)의 물에 냉각하여 실시간으로 온도를 측정하였다.

Fig. 2 에 대형 튜브의 수냉 사진과 고온의 튜브가 물에 냉각되면서 표면에 발생하는 보일링을 나타내었다. 이는 보일링으로 인해 튜브 표면에 존재하는 물은 활발하게 순환되어 튜브의 냉각속도를 향상시키는 요인으로 예상된다.

3. 유한요소해석

Al6061 열처리 실험을 통해 확인된 보일링 현상의 고려 여부에 따라 유한요소해석을 수행하여 대형 튜브의 냉각온도를 예측하였다.

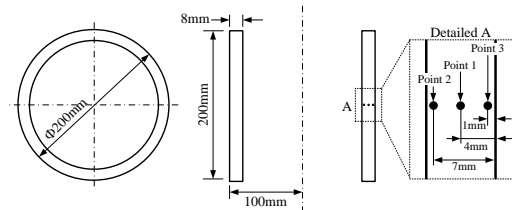


Fig. 1 Shape of specimen and measuring points for temperature.

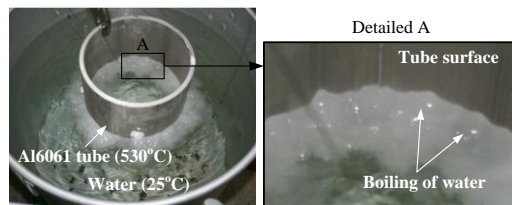
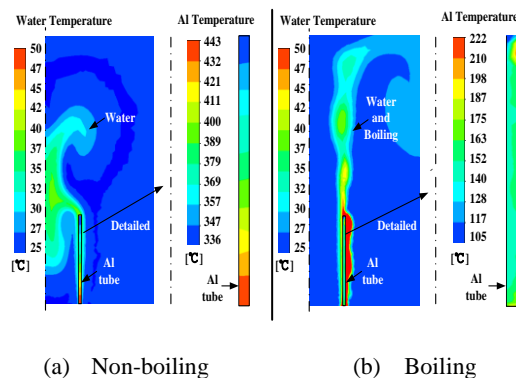


Fig. 2 boiling of water during quenching process.

보일링 현상을 고려하지 않는 경우의 유한요소해석은 25℃ 물의 물성만 입력하였으며, 보일링 현상을 고려한 경우의 유한요소해석은 물의 초기 온도를 25℃로 설정하고 100℃ 물과 수증기의 물성을 각각 입력하였다. 또한 물의 포화온도(Saturation temperature)를 100℃로 설정하여 물의 상변태를 고려하였다

Fig. 3 에 물의 보일링 현상을 고려 유·무에 따른 유한요소해석결과를 나타내었다. 물의 보일링 현상을 고려하지 않는 해석은 튜브 주위로 물이 활발하게 유동하지 않는 결과를 확인할 수 있었다. 반면에 보일링 현상을 고려한 해석은 물에서 상변태한 수증기가 밀도차로 인해 상승하고 이로 인해 활발한 유동을 나타내었다. 이러한 물의 유동양상의 고려 여부에 따라 튜브의 냉각속도에 현저한 차이가 나타날 것으로 판단된다.

Fig. 4 에 열처리 실험과 유한요소해석의 시간에 따른 냉각온도를 측정지점에 따라 비교하여 나타내었다. 냉각시간에 따른 온도변화는 보일링 현상을 고려한 경우와 실험결과가 매우 유사한 경향을 나타냄을 확인할 수 있었다. 또한 실험에서 튜브의 냉각속도는 30.2℃/s 이며, 보일링 현상을 고려하지 않은 해석과 고려한 해석은 각각 11.7℃/s 와 33.5℃/s 의 냉각속도를 가졌다. 따라서 물의 보일링 현상을 고려 유·무에 따라 튜브의 냉각속도는 현저한 차이를 나타내었으며, 실험결과와 비교를 통해 보일링 현상을 고려한 해석방법의 타당성을 확보하였다.



(a) Non-boiling (b) Boiling
Fig. 3 Results of FE-simulation for water flow and distribution of temperature.

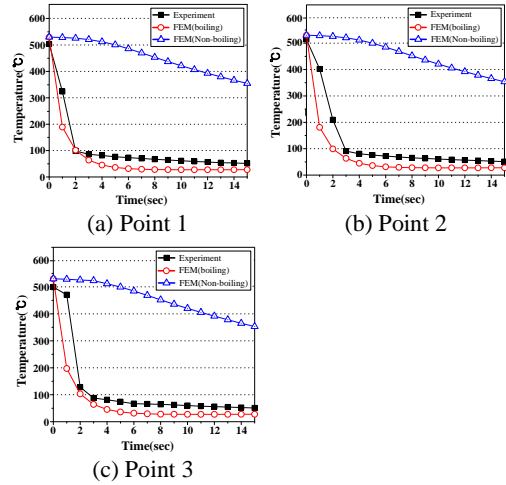


Fig. 4 Comparison of experiment and FE- simulation for measuring temperature points.

4. 결론

본 연구에서는 Al6061 의 수냉 시 발생하는 보일링 현상을 고려한 유한요소해석을 수행하여 다음과 같은 결론을 도출하였다.

1. 열처리 실험을 수행하여 튜브의 표면에 보일링이 발생함을 확인하였다.
2. 유한요소해석 결과에서 보일링 현상의 고려 유무에 따라 튜브의 냉각속도에 현저한 차이를 보였다.
3. 유한요소해석과 실험결과를 비교하여 보일링의 고려한 결과의 타당성을 확보함에 따라 해석결과의 정도를 향상시킬 수 있었다.

후기

본 연구는 민군겸용기술개발사업의 연구비 지원으로 수행되었음.

참고문헌

1. 이정호, 이부윤, 전제영, 이명렬, 조종래, “대형 단조품 담금질 과정의 조직 및 응력 해석”, 한국정밀공학회지, pp.964-968, 1996.
2. B. Smoljan., “Numerial Simulation of Steel Quenching”, JMEPEG(2002) 11:75-79