

증기터빈 로터용 CrMoV강의 Quenching 해석 Quenching Analysis of Cr-Mo-V steel for Turbine Rotor Shaft

*오상균¹, #김영석², 이락규¹, 정윤철¹, 김동배¹, 강경필³, 강호경⁴

*S. K. Oh¹, #Y. S. Kim(caekim@knu.ac.kr)², R. G. Lee¹, Y-C. Jung¹, D. B. Kim¹, K. P. Kang³, H. K. Kang⁴
¹대구기계부품연구원, ²경북대학교 기계공학부, ³(주)솔루션랩, ⁴현진소재(주),

Key words : Quenching, Rotor, Turbine, JMatPro, Design of experiment

1. 서론

터빈 로터는 회전속도가 약 3600 r/min에 달하는 초대형 정밀기기로써 회전익의 원주방향의 운동력을 전달받아 회전력으로 바꾸어 발전기로 전달하는 역할을 하며, 회전익은 터빈 로터에 조립되어 증기로부터 받은 열에너지를 회전운동으로 바꾸어 주는 역할을 한다. 따라서 터빈의 운전수명 동안 안정성을 부여하기 위해 건전한 소재를 사용하여, 소재에 고온 물성치를 부여할 수 있는 단조기술과 로터 중심부까지 균일한 미세조직을 만들 수 있는 열처리 기술을 확보해야만 한다. 담금질 공정시 발생하는 온도이력, 상변화, 변형거동을 예측하기 위한 연구^{(1), (2)}가 수행되고 있으나, 주로 소형 제품 또는 원통형 부품에 대한 담금질 공정에 대해 유한요소해석을 적용한 경우로 한정된다. 대형 소재의 담금질시 냉각속도와 미세조직을 적절히 예측하고 제어하는 것은 개발 제품의 특성 확보에 중요하다.

본 연구에서는 Ø500급의 대형 부품의 열처리시 심부의 열처리 조직예측을 위해 DEFORM을 활용한 열전달 해석이 수행 되었다. 또한, 열처리시 냉매는 water, polymer 및 oil을 사용하였으며 소재 표면과 냉매의 접촉면에서의 대류계수(convection coefficient)를 역문제법(inverse method)으로 도출하여 온도의 함수로 나타내어 적용하였다. 이를 위하여 열전달계수를 역문제법으로 구하기 위한 열전달 해석의 최적화(DOE, design of experiment) 모델로 각각 반응표면모델, 크리깅메타모델, 인공신경망 모델을 적용하였다.

2. 해석 모델 및 물성

퀵칭해석 대상 모델은 지름 500 mm, 높이 500 mm로써 냉각속도 획득 실험에 사용했던 형상과 동일하게 모델링하였다(Fig. 1). 퀵칭해석조건은 2차원 축대칭 조건으로 부여하였고 열전달, 변형

및 상변태를 고려하여 열전달해석을 수행하였다. 냉각조건은 3종(oil, polymer, water)의 냉각 매질에 대하여 고려하였으며, 초기 소재 온도를 850℃로 두었으며 가열로에서 냉각조로 이송하는 공정과 퀵칭 공정으로 구분하여 해석하였다.

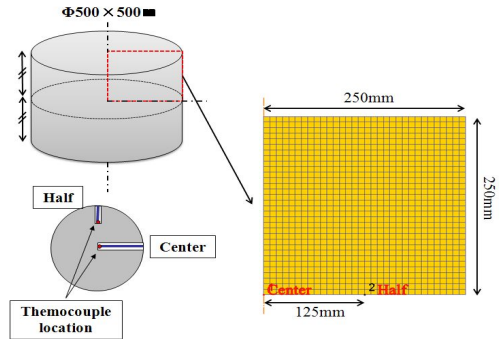


Fig. 1 The geometry of Ø500 model

소재의 물리적, 열-물리적 및 기계적 성질들은 공정 모델링을 하는데 필수적인 입력 자료들이다. 본 연구에서는 재료 물성 모델러인 JMatPro를 활용하여 1Cr1Mo0.25V강의 화학 조성에 대하여 CCT 선도를 도출하고 계산된 각 상의 열전도도, 열용량 등을 DEFORM의 재료물성에 온도에 따른 함수로 입력하여 퀵칭 해석에 적용하였다. 본 연구에서는 Owen이 제시한 컴퓨터 시뮬레이션 방법을 적용하여 총 50회의 5수준 직교배열을 생성하였고, 망소 특성을 고려하여 기하평균을 구해주는 만족도함수(desirability Function)를 적용하여 최적해를 예측하였으며 최적해는 만족도함수(D)가 최대가 되는 온도별 열전달계수의 값이다.

$$D = \left(\prod_{i=1}^n d_i \right)^{\frac{1}{n}} \quad (1)$$

여기서, d_i 는 목적함수 각각에 대한 만족도를 나타내며, n 은 목적함수의 갯수를 나타낸다.

3. Quenching 해석 결과

최적화 모델로 얻은 열전달계수와 JMatPro를 활용한 CCT선도를 적용하여 상변태를 고려한 퀴칭 해석 결과로 대형 크기 단조품(Φ500×H500mm)의 냉매별 냉각속도 이력 곡선을 Fig. 2에 나타내었다. 퀴칭공정에서 냉각시 Ms 근처온도인 400℃까지 소요되는 시간이 water 냉각이 가장 빠르며 상대적으로 polymer 냉각은 water 냉각보다 느리지만 water 냉각곡선과 일정한 간격을 두고 유사한 패턴으로 냉각되는 것으로 나타났다. 상대적으로 oil 냉각은 냉각속도가 가장 느리게 나타나고 있다. Fig. 3 및 Fig. 4에 퀴칭 공정에서 각 냉매별로 4500s 냉각 후 마르텐사이트 및 베이나이트 생성분포를 나타내었다. water 냉각의 경우 표면에서부터 약 15 mm 깊이 까지 마르텐사이트가 생성되고 심부에서는 베이나이트가 생성되는 것을 예측하였다. 반면에 oil 냉각은 냉각속도가 느리므로 모서리 부분을 제외하고 마르텐사이트의 생성이 거의 없고 대부분 베이나이트가 생성되는 것으로 모사되었다. 한편, polymer 냉각은 water 냉각과 유사한 양상을 나타냈다.

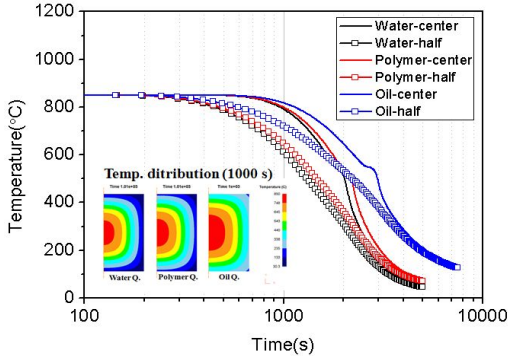


Fig. 2 Simulated cooling curves of Ø500 model

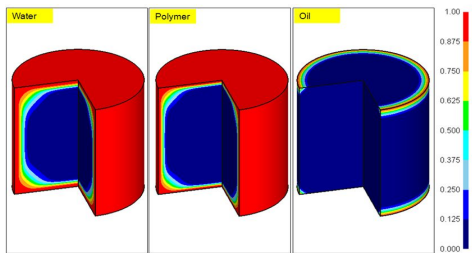


Fig. 3 Martensite distribution of Ø500 model (Time : 4500s)

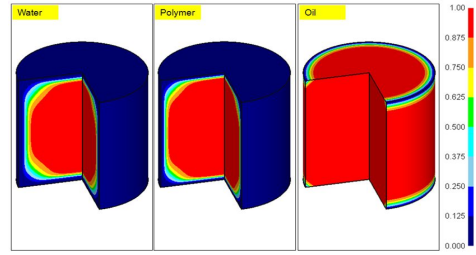


Fig. 4 Bainite distribution of Ø500 model (Time : 4500s)

4. 결론

본 연구에서는 Ø500급의 대형 부품의 퀴칭공정에서 심부의 열처리 조직예측을 위해 반응표면모델, 크리깅메타모델, 인공신경망 모델에 의한 최적화 방법으로 대류계수를 도출하는 방법을 제시하였다. 최적화 방법으로 도출된 대류계수와 JMatPro를 활용한 CCT선도를 적용하여 상변태를 고려한 퀴칭 해석으로 퀴칭시 냉매에 따라 Ms 온도까지의 시간, 부위별 냉각속도, 열처리 조직의 분포와 체적분률을 예측하였다. Ms 온도까지의 냉각에 소요되는 시간은 water 냉각이 가장 빠르며, water 및 polymer 냉각에서는 표면에서 대부분 마르텐사이트를 생성하는 반면에 oil 냉각은 마르텐사이트 생성이 거의 없고 대부분 베이나이트를 생성하는 것으로 예측되었다.

후기

본 연구는 지식경제부의 “부품소재기술개발사업”으로 수행되었으며 연구비 지원에 감사드립니다.

참고문헌

1. S.H. Kang and Y.T. Im, "Thermo-elasto-plastic finite element analysis of quenching process of carbon steel," J. of Materials Processing Technology, **192-193**, 381-390, 2007.
2. 최봉학, 박시영, 김정태, 최정길 "상변태 예측 및 열응력 해석에 의한 CrMoSC1 강의 열처리 공정 설계," 열처리공학회지, **18**, 247-255, 2005.
3. Owen. A., "Orthogonal arrays for computer experiments, Integration and Visualization," Statistica Sinica, **2**, 439-452, 1992.