

냉간 단조용 SCr420 강의 퀘칭 시 열전달 예측모델 개발

진민호* · 장지웅** · 강성수***

Development of Heat Transfer Predicting Model for Cold forging Steel(SCr420) During Quenching Process

M. H. Chin, J. W. Jang and S. S. Kang

Abstract

Heat treatment is one of the critical manufacturing processes that determine the quality of a product. This paper presents experimental and analytical results for the quench of a ring gear in stagnant oil. The goal of this study is to develop heat transfer predicting model in an overall analysis of the quenching process. Thermal conductivities which are dependant on temperatures and convection coefficients which are obtained by inverse method are used to develop the accurate heat transfer model. The results of heat transfer model have a good agreement with experimental results.

Key Words : Heat Transfer , Convection Coefficient, Thermal Conductivity, Heat Capacity, Quenching process
Inverse Method Algorithm

1. 서론

열처리는 필요한 기계적 물성치를 획득하기 위한 아주 중요한 생산 공정이다. 강의 열처리 기술은 핵심부품의 내구성, 내마모성 및 성능 향상을 위해서 매우 중요한 기술이며, 특히, 자동차, 조선 산업 등의 국제 경쟁력 향상을 위해서 아주 중요한 기술이다. 열처리 시에는 크기와 형태의 변형 및 Quenching 균열과 같은 결함이 발생하게 되며 이로 인한 추가 공정이 요구되어 생산비용을 증가 시키고, 생산되는 부품의 신뢰도에 치명적인 영향을 끼치는 등의 여러 가지 문제를 발생시키고 있다.¹⁾

그러나 현장에서 이러한 결함등에 대한 지금까지의 대처방안은 축적된 경험에 의한 데이터와 trial & error 의 방법을 사용하고 있어, 열변형에 대한 정확하고 정량적인 제어를 하고 있지 못한 실정이다. 따라서 본 연구에서는 이러한 열처리 시의 열변형을 정량적으로 제어하기 위한 진단 계로써의, Quenching 공정시에 발생하는 열전달을 예측하기 위한 모델을 개발하고자 하였다. 이를 위해 열전달에 관련된 열용량(Heat Capacity)²⁾은 문헌연구를 통하여 획득하였으며, 온도에 따라 크게 변화하는 열전도도(Heat Conductivities) 및 대류계수(Convection

* 부산대학교 정밀기계공학과 대학원

** 부산대학교 정밀기계공학과 대학원

*** 부산대학교 기계공학부

Coefficients)를 실험을 통하여 획득하였다. 획득한 물성치를 통하여, 개발된 예측모델의 타당성을 실험 결과의 비교를 통해 검증하고자 하였다.

2. 열적 물성치 획득

2.1 목표 강종

목표 강종은 대표적인 HSLA(High Strength Low Alloy) 강으로써 자동차 기어 단조용 소재로 널리 사용되고 있는 SCr420 을 선정하였다. 아래의 Table 1 에 SCr420 강의 화학조성을 나타내었다.

Table 1 Chemical Composition of SCr420 Steel

C	Si	Mn	P	S	Cr
0.18	0.15	0.60	0.030	0.030	0.90
~	~	~	이하	이하	~
0.23	0.35	0.85			1.20

2.2 열용량(Heat Capacity)

문헌조사를 통해 목표 강종(SCr420 및 SCM420 강)의 온도에 따른 열용량(Heat Capacity)을 얻을 수 있었으며 그 결과를 아래의 Fig. 1 에 나타내었다.

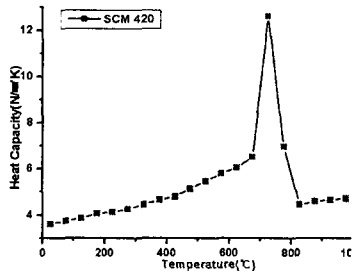


Fig. 1 Heat Capacity for SCM 420 Steel

2.3 대류계수(Convection Coefficient)

Quenching 공정을 묘사하는 Cooling 실험을 통하여 각 면에서의 Cooling Curve 를 획득한 다음 이를 Inverse Method 를 이용하여 대류계수를 획득하기로 하였다.

2.3.1 냉각곡선 획득 실험

단순화 된 Ring Gear 의 4 부위(Bottom, Outer, Top, Inner Surface : Fig. 3 참조)에 K Type 의 열전대를 접촉하였다. 분당 10°C의 속도로 승온 후 완전하게

Austenite 화하기 위하여 소재의 A_{C3} 온도 이상에서 1 시간의 Holding 후에 시편을 취출 하여 160°C로 가열된 기름욕조에 담근다. 시험편의 산화를 방지하기 위하여 N_2 를 보호 gas 로 사용하였다. 아래의 Fig. 2 에는 본 실험에 사용된 실험 장비들을, Fig. 3 에는 시험편의 형상과 열전대의 부착위치를 나타내고 있으며, Fig.4 에는 Quenching Cycle 을 나타내었다.

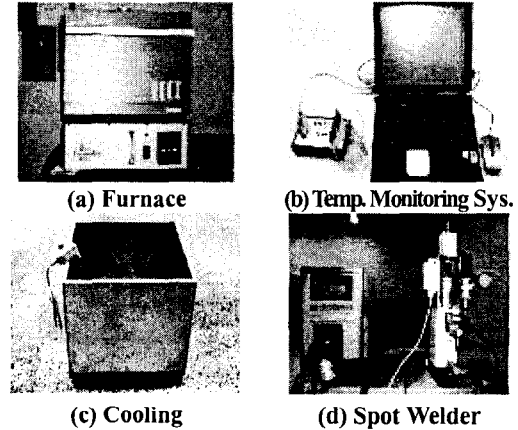


Fig. 2 Equipment for Obtaining Cooling Curves

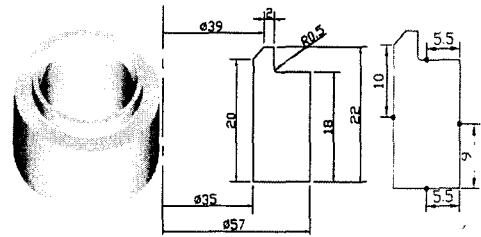


Fig. 3 The Geometry of Specimen and Location of Thermo-couples

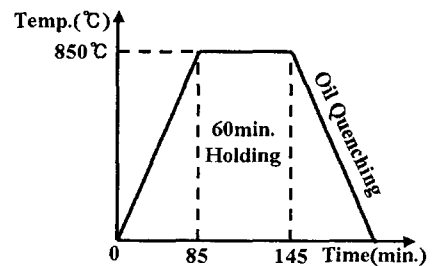


Fig. 4 The Quenching Cycles for Experiments

아래의 Fig. 5 에 실험으로 획득한 시험편의 각 부의 냉각 곡선을 나타내었다. 시험편의 형상 및

크기가 작아서 많은 차이는 나지 않지만 바닥부의 냉각속도가 제일 빠르고 그 다음으로 윗면, 바깥 그리고 내경부의 순으로 일정한 경향성을 가짐을 알 수 있었다.

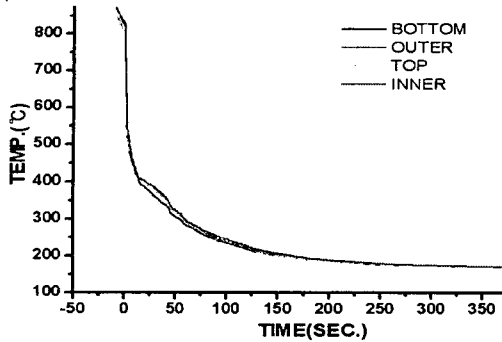


Fig. 5 Sectional Cooling Curves During Quenching

2.3.2 대류계수(Convective Coefficient)의 획득
대류계수는 실험을 통해 측정된 각부의 온도데이터를 FEM(Finite Element Method)³⁾을 이용한 Inverse method를 통하여 각 위치별 최적화된 대류계수를 획득하였다.

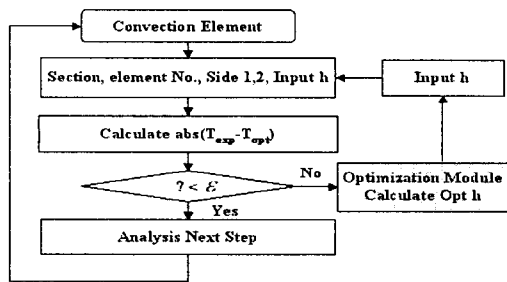
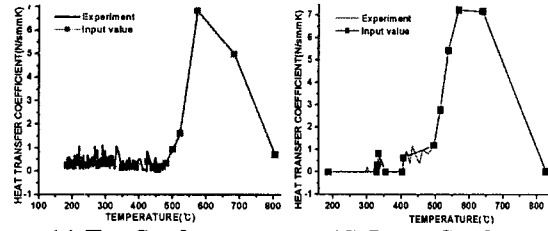
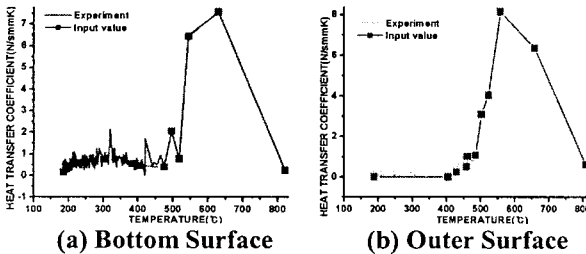


Fig. 6 Inverse Method Algorithm for Obtaining Optimal h

위의 Fig. 6 에 Inverse Method 에 대한 Algorithm 을 나타내고 있다. 즉, 실험에서 획득한 각 부위별 온도 (T_{exp})와 프로그램을 통해 입력되는 h 값을 통해서 계산된 해석상의 온도(T_{opt})와의 차이가 $\epsilon(1^\circ\text{C}$ 이하) 범위로 좁혀질 때 최적의 h 값으로 선택하였다. 이 Algorithm 을 통하여 얻은 SCr 420 강 의 최적의 H 값을 아래의 Fig. 7 에 나타내었다.



(c) Top Surface (d) Inner Surface

Fig. 7 Optimal h through Inverse Method

2.4 열전도계수(Thermal Conductivities)
열전도 계수는 먼저 온도에 따른 열확산도를 측정하여 아래의 식 (1)을 통하여 역으로 열전도 계수를 구하기로 하였다.

$$K = D\rho C_p \quad (1)$$

여기서 D 는 열확산도를, ρ 는 재료의 밀도 그리고 C_p 는 재료의 비열을 나타낸다.

아래의 Fig. 8 에 실험을 통해 획득한 열확산도를 이용하여 역으로 계산하여 획득한 열전도도를 나타내었다.

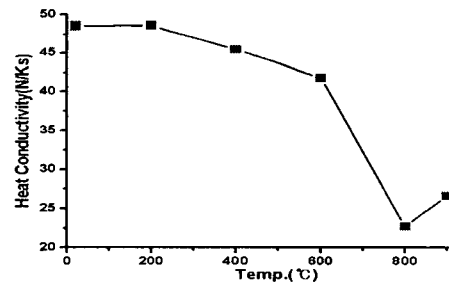


Fig. 8 Thermal Conductivity for SCr420 Steel

3. 열전달 예측 모델 정립

3.1 열전달 해석

Quenching 시의 열전달 해석을 ABAQUS 를 이용하여 수행하였다. 열전달 모델의 형상은 대류계수 측정 실험에 사용되었던 것과 동일한 링 기어를 사용하여 2D, 축대칭의 조건으로 해석을 수행하였다. 실험 시에는 850°C 에서 취출을 하였으나 공기 중에서 냉각되는 효과를 고려하여 해석에서는 링 기어의 초기 온도는 830°C 로 두었으며 외부온도는 기름 욕조의 온도인 160°C 로 두어 해석을 수행하였다.

열전달 해석의 결과와 실험으로 얻은 결과를 아래의 Fig. 9 에 각 위치별로 비교해 보았다.

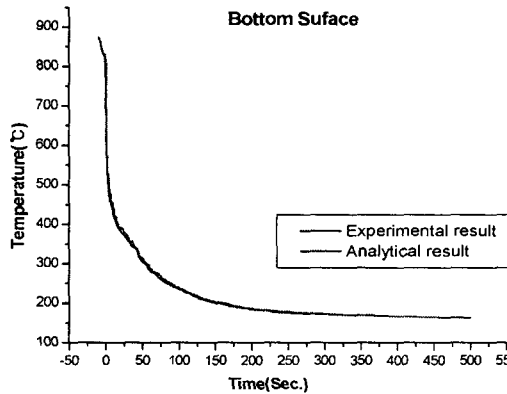


Fig. 9 (a) Bottom Surface

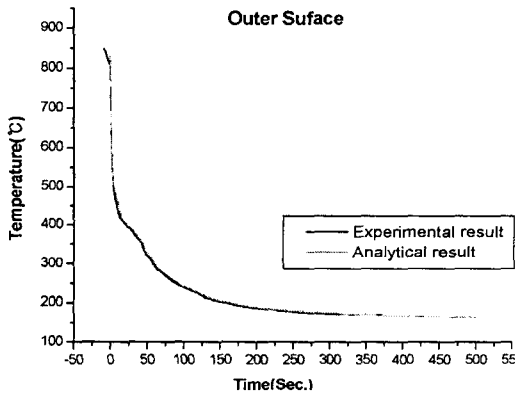


Fig. 9 (b) Outer Surface

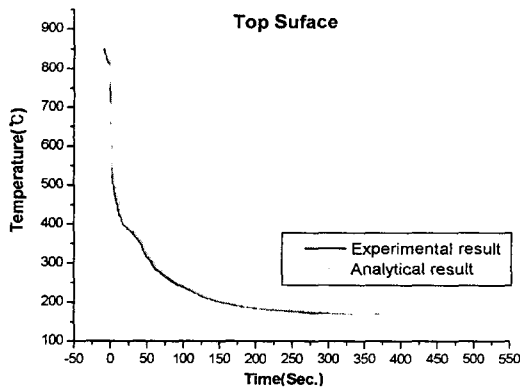


Fig. 9 (c) Top Surface

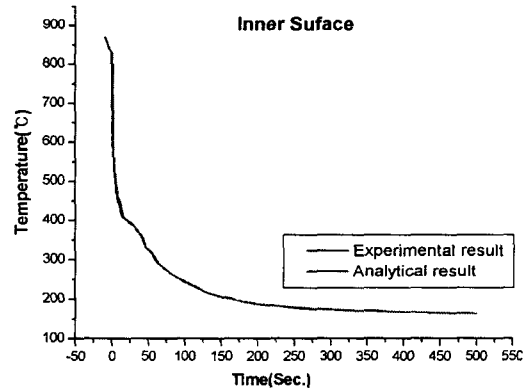


Fig. 9 (d) Inner Surface

4. 결론

SCr420 강의 퀴칭 시 열전달 예측모델 개발에 관한 연구를 수행한 결과 아래와 같은 결론을 도출할 수 있었다.

(1) 온도에 따른 열전도도와 Cooling Curve 획득 실험 및 Inverse Algorithm 을 통한 최적의 h 값을 획득하였다. 이를 통해 구축된 예측모델은 Fig. 9 에 나타난 결과와 같이 실험값과 매우 정확하게 일치하고 있음을 확인하였다.

후기

본 연구는 산업자원부에서 시행한 국제 IMS 프로그램 연구개발의 일환으로 수행되었습니다.

참고 문헌

- (1) G.M.Ludtka, W.H.Elliott and Tracy Pattok "Predictive Model and Methodology for Heat Treatment Distortion", The Engineering Society For Advancing Mobility Land Sea Air and Space INTERNATIONAL, August 11-13, (1998)
- (2) 連続鋼版加熱爐における傳熱實驗 計算方法, 昭和 45 年, pp. 80-87, 日本鐵鋼協
- (3) 장지웅, "FE program development for predicting and controlling thermal deformation in heat treatment", 부산대학교, 석사학위논문, 2002