

금속 표면 경화 목표값 적용에 따른 열처리 적용조건 탐색 방법 연구

*오경모, 최현균, 김호겸, 유대승

*(주)유피시엔에스, 한국전자통신연구원

*okmjaya@gmail.com, choihk@etri.re.kr, hokykim@etri.re.kr, ooseyds@etri.re.kr

Searching method Study for heat treatment condition according to metal surface hardness target value

*Kyung-mo Oh, Hyun-kyun Choi, Ho-kyom Kim, Dae-seung Yoo,

*UPC&S, ETRI

요약

본 논문은 선박용 엔진의 조립 또는 장착 시 사용되는 체결 볼트와 너트 등의 기계 부품의 원재료인 환봉을 설계 도면에 따른 크기만큼 절단하는 절단 공정과, 경도 향상을 위한 열처리 공정과, 선반 등에서 나사산을 형성하는 전조 공정을 순차적으로 수행하는 제조 공정에서 열처리 적용조건을 탐색하는 방법을 제공한다. 열처리 공정은 담금질(Quenching) 공정 및 뜨임(Tempering) 공정을 수행하여 재료의 경도와 강도를 높일 수 있다. 종래 기술에 따른 열처리 방법들은 미리 정해진 온도에서 열처리 공정을 수행하는 것에 불과하므로, 금속 표면 경화 목표값을 지정하여 이를 만족시킬 수 있는 열처리 적용조건을 파악하거나 탐색할 수 있는 방법 및 시스템을 제공한다.

I. 서론

본 논문에서 사용되는 선박용 엔진 볼트, 너트의 체결시 높은 강도와 연신율을 좋게하여 선박 운항시 각 부품의 연결을 돕고 각종 부품의 결합을 돕는 역할을 한다. 본 연구는 기존의 볼트, 너트의 강종에 따른 열처리 적용조건을 사전 파악하여 소용 목표 경도를 찾아 내고 향후 신규 제품이 들어 왔을 때 적절한 목표 경도 값을 정해지면 역으로 열처리의 분위 온도를 제시해주는 모델을 만드는 것이다.

일반적으로, 선박용 엔진의 조립 또는 장착 시 사용되는 체결 볼트와 너트 등의 기계 부품은, 원재료인 환봉이 입고되면, 설계 도면에 따른 크기만큼 절단하는 절단 공정과, 경도 향상을 위한 열처리 공정과, 선반 등에서 나사산을 형성하는 전조 공정을 순차적으로 수행하여 제조된다. 여기서 제시한 열처리 공정은 담금질(Quenching) 공정 및 뜨임(Tempering) 공정이다. 담금질 공정은 재료를 높은 온도로 가열하여 일정 시간 유지한 다음 물이나 기름 등을 이용하여 급냉하는 공정으로, 재료의 경도와 강도를 높일 수 있다. 뜨임 공정은 담금질한 재료를 변태점 이하의 온도로 재가열한 후 냉각시키는 공정으로, 담금질한 재료의 조직 및 기계적 성질을 안정화하고 잔류응력을 제거하여 탄성 한도와 항복 강도를 향상시킬 수 있다. 아울러, 열처리 공정에는 재료를 가열한 후 자연냉각하여 표준화 상태로 만드는 불림(Normalizing, 소준) 공정 및 재료를 가열한 다음 서서히 냉각시키는 풀림(Annealing, 소둔) 공정이 더 포함될 수도 있다. 이러한 열처리 공정과 관련하여, 종래 기술에 따른 열처리 방법들은 미리 정해진 온도에서 열처리 공정을 수행하는 것에 불과하므로, 금속 표면 경화 목표값을 지정하여 이를 만족시킬 수 있는 열처리 적용조건을 파악하거나 탐색할 수 방법을 제시한다.

II. 본론

같은 목적을 달성하기 위한 본 연구는 프로세서가, 금속 재료의 표면 경화를 위한 열처리 공정별 열처리 온도의 측정값과 열처리 온도별 경도의 측정값에 대한 실험 데이터를 수집하는 수집 단계; 실험 데이터를 이용하여 열처리 온도와 경도 간의 상관관계 분석을 위한 예측 모델을 생성하는

모델 생성 단계; 및 상기 예측 모델에 금속 표면 경화 목표값이 입력되면, 상기 금속 표면 경화 목표값을 만족시킬 수 있는 최적의 열처리 온도를 도출하여 열처리 적용조건을 결정하는 열처리 적용조건 탐색 단계;를 포함하는 금속 표면 경화 목표값 적용에 따른 열처리 적용조건 탐색 방법을 제공한다. 바람직한 실시예에 있어서, 상기 예측 모델은, 적어도 2 이상의 열처리 공정에 대한 열처리 온도의 측정값들이 각각의 독립변수를 구성하고, 경도의 측정값이 종속변수를 구성하는 다중선형회귀 모델이다.

step1) 데이터 수집

강종	독립변수1	독립변수2	종속변수
	X1	X2	Y
SNCM439	860	560	37
SNCM439	860	560	35
SNCM439	860	560	36
SNCM439	860	580	36
SNCM439	860	580	36
SNCM439	860	550	36
SNCM439	860	585	34
SNCM439	860	550	36
SNCM439	860	630	27
SNCM439	860	600	30
SNCM439	860	600	30
SNCM439	860	600	32
SNCM439	860	600	32
SNCM439	860	620	31
SNCM439	860	610	32
SNCM439	860	600	32
SNCM439	860	590	32
SNCM439	860	560	34
SNCM439	860	600	32
SNCM439	860	600	32
SNCM439	860	590	30
SNCM439	860	600	32
SNCM439	860	600	32
SNCM439	860	590	32
SNCM439	860	610	32
SNCM439	860	560	36
SNCM439	860	560	35

그림1. 실시간 강종별 원천데이터

실시간 IoT 센스를 연결하여 각 강종별 실시간 열처리 정보를 획득하고, 실제 수작업에 의한 실측한 표면 경도값을 데이터 베이스화 하여 저장한다.

step2) 예측모델 생성

■ 분산분석(ANOVA)

구분	계급합	자유도	평균제곱	F	유의확률
회귀	34723.718	2	17361.859	10670.000	0.000
잔차	8353.296	5132	1.628		
전체	43077.015	5134			

a. 독립 변수: X1, X2
b. 종속 변수: Y

※ 분산분석(ANOVA)은 회귀식 자체의 유의성을 판단하기 위해 사용됩니다.
※ 분산분석에서 유의확률이 0.05보다 작으면, 회귀모형이 적합하다고 검증/해석 할 수 있습니다.

■ 회귀계수

변수명	비표준화 계수		표준화 계수		8에 대한 95% 신뢰구간		공선성 통계량	
	B	표준화 오류	베타	t	하한	상한	중차	VIF
const	59.734	17.365		3.440	0.001	25.690	93.777	
X1	0.029	0.020	0.009	1.441	0.150	-0.010	0.069	0.999
X2	-0.088	0.001	-0.898	-146.028	0.000	-0.089	-0.087	0.999

※ 회귀계수는 독립 변수의 변화에 따른 종속 변수의 변화량을 나타냅니다.
※ VIF값이 99999일 경우 무한대를 뜻합니다.

그림2. 모델 결과

즉, 상관계수가 0.6 이상이면 독립변수가 종속변수를 잘 설명할 수 있고, $Y = 59.734 + 0.029X_1 - 0.088X_2$ 회귀식 모델이 생성된다.

step3) 적용조건 탐색 시스템

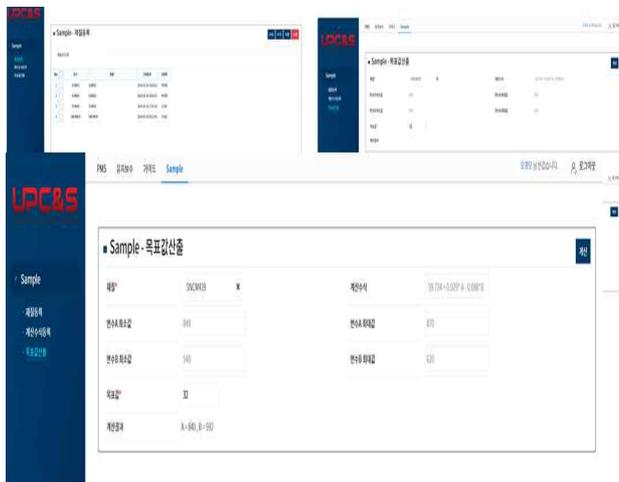


그림3. 적용조건 탐색 시스템

각 강종별 회귀식 모델이 생성 되면 기준정보로 시스템에 등록하고 목표 경도값을 설정하여 탐색을 실시하면 최적의 담금질 온도와 뜨임 온도를 제시해주는 시스템이다. 정리 하자면 금속 재료의 표면 경화를 위한 열처리 공정별 열처리 온도의 측정값과 열처리 온도별 경도의 측정값에 대한 실험 데이터를 수집하고, 실험 데이터를 이용하여 열처리 온도와 경도 간의 상관관계 분석을 위한 예측 모델을 생성하며, 상기 예측 모델에 금속 표면 경화 목표값이 입력되면, 상기 금속 표면 경화 목표값을 만족시킬 수 있는 최적의 열처리 온도를 도출하여 열처리 적용조건을 결정하는, 금속 표면 경화 목표값 적용에 따른 열처리 적용조건 탐색 시스템을 제공한다.

III. 결론

본 논문에서는 선박용 엔진 볼트.너트 열처리 공정에서의 담금질(Quenching) 및 뜨임(Tempering) 결과물에 따른 표면 경도를 실측하여, AI를 활용 회귀식 모델을 강종별로 찾아내고 역으로 목표 경도값을 설정하면 최적의 온도 조건을 제시해주는 시스템을 구축한 사례이다. 열처리 공정 시의 열처리 온도와 경도 간의 상관관계 분석을 위한 예측 모델을

구비함으로써, 금속 표면 경화 목표값을 지정하는 간단한 방식으로 최적의 열처리 적용조건에 대한 탐색 결과를 제공하는 효과가 있다.

추후 연구 과제는 생산 현장의 CAPA를 고려한 장비별 작업 할당 문제를 ESG 경영관점에서 탄소저감을 위한 최적화 문제를 다룰 필요성이 있어 연구하고자 한다.

ACKNOWLEDGMENT

본 논문은 울산시-ETRI 2차 공동협력사업의 일환으로 수행되었음. [24AB1600, 제조 혁신을 위한 주력산업 지능화 기술 개발 및 산업현장에서의 사람-이동체-공간 자율협업지능 기술 개발]

참고 문헌

- [1] 최현균 외 2명 “불연속 공정 기계 부품의 AI 최적 솔루션 시스템 요구 사항 정의서” v1.0, 2021.
- [2] 최현균 외 2명 “불연속 공정 기계 부품의 AI 최적 솔루션 시스템 구조 설계서” v1.0, 2021.
- [3] 오경모 “데이터 인프라구축사업 AI컨설팅 결과 보고서” v1.0, 2023.
- [4] 오경모 “선박용 엔진 볼트 크랙 불량 원인 분석 방법 및 품질예측에 관한 연구” v1.0. 2023