
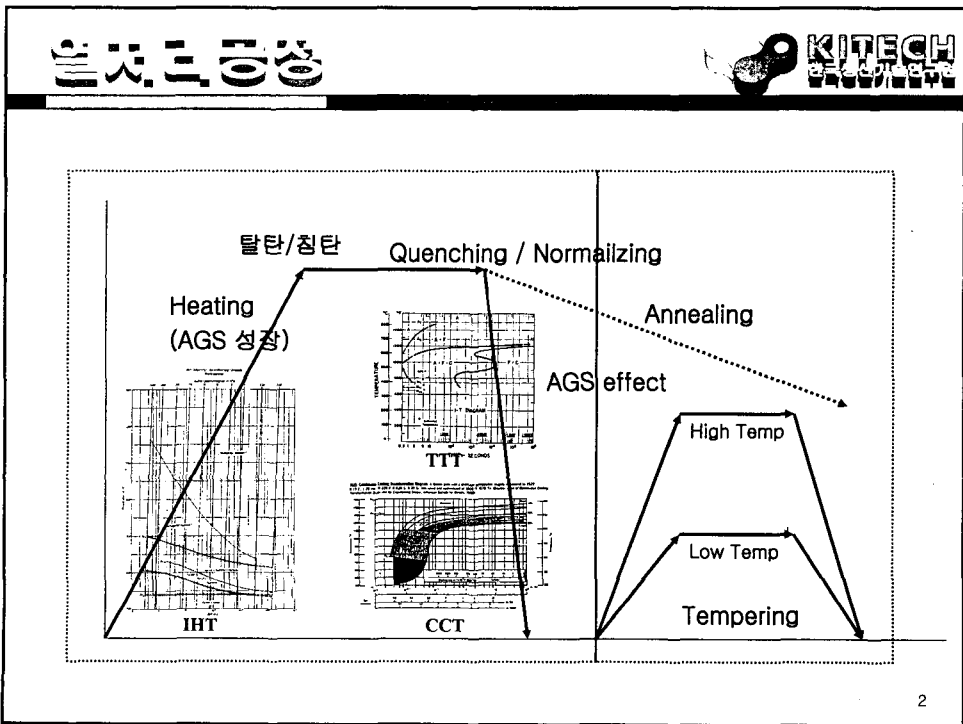


초알루미늄 스프링

열처리 최적 기술을 위한

김정태*, 곽시영, 최정길

침탄/탈탄

$$\frac{\partial C}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left(D \frac{\partial C}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(D \frac{\partial C}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(D \frac{\partial C}{\partial z} \right)$$

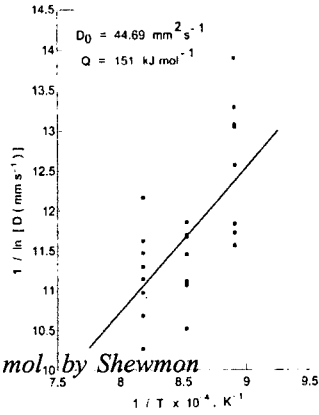
일반 확산계수

$$D = D_0 \exp(-Q / RT)$$

$$D_0 = 0.447 \text{ cm}^2 / \text{sec}$$

$$Q = 35952 \text{ cal} / \text{mol} \text{ by Jimenez}$$

$$Q = 31904 \text{ cal} / \text{mol} \text{ by Verhoeven} \quad Q = 34523 \text{ cal} / \text{mol}_{10} \text{ by Shewman}$$



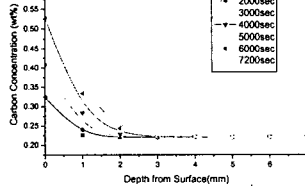
농도의존 확산계수 by GRANTAS(KOMATSU)

$$D = D_0 \exp(-1.6C\%) \exp[-(370000 - 6600C\%) / RT]$$

$$D_0 = 0.47 \text{ cm}^2 / \text{sec}$$

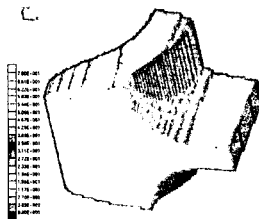
탄소농도 변화

침탄해석 CP : 0.8 wt% C
시편: 0.22 wt% C 900°C



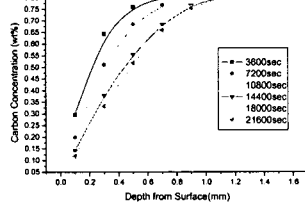
침탄해석 Sprocket

CP : 0.8 wt% C, 기지 : 0.2 wt% C 900°C



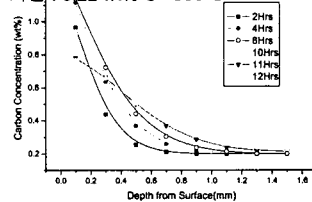
탈탄해석 CP : 0.01 wt% C

시편: 0.8 wt% C 900°C

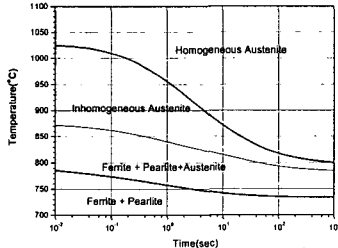


침탄해석 가변 CP : 0.8 wt% C

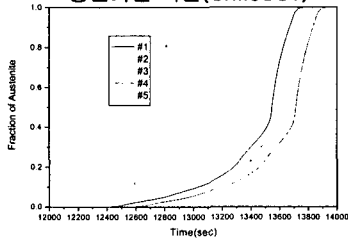
시편: 0.22 wt% C 900°C



Austenite 분율 예측



등온가열 곡선(CrMoSC1)



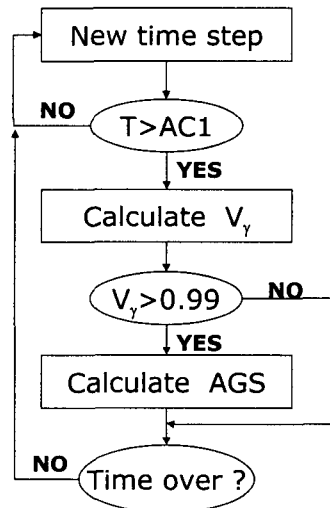
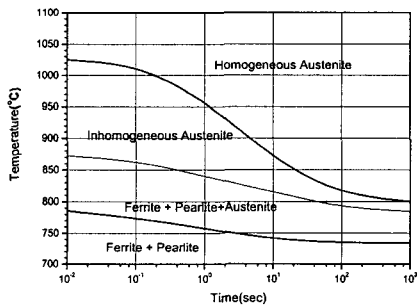
위치별 분율의 변화



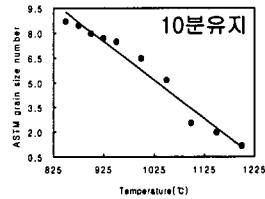
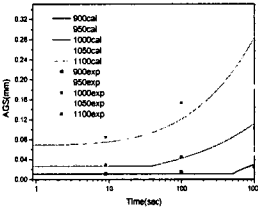
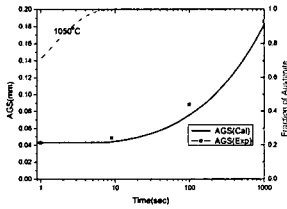
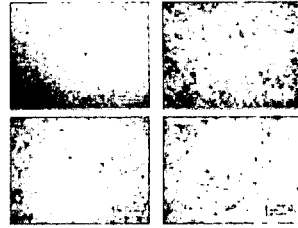
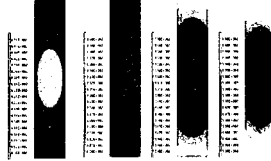
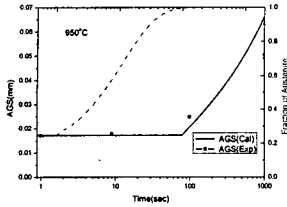
오스테나이트 분율

기본 수식

$$G^a = G_0^a + k_0 \sum_i \Delta t_i \exp\left(-\frac{Q}{RT_i}\right)$$



Austenite 결정립 성장

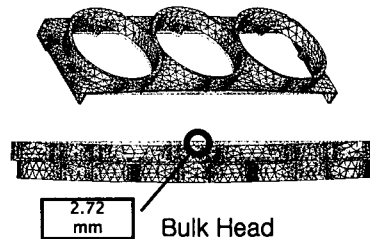
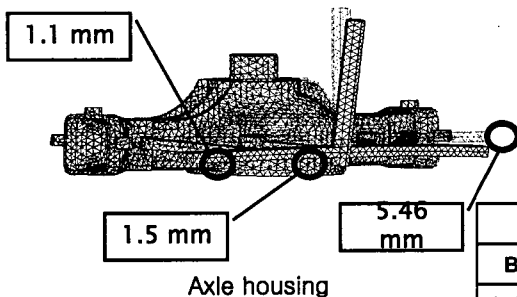


해석에 의한 온도별 AGS 변화

실험 결과

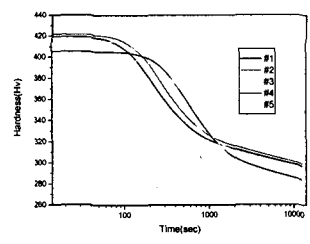
자중/Creep 고온변형

고온변형 : 가열 공정 중 자중에 의해 처짐 발생
 Creep : 장시간에 걸쳐 하중을 받는 재료의 변형량이 초기에 비해 점차 증가

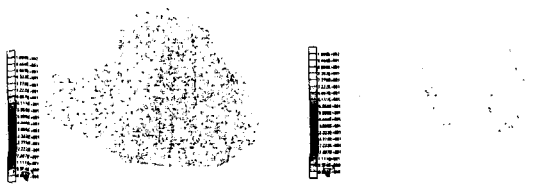


	자중	자중 + Creep
Bulk Head	2.72×10^{-3}	4.01×10^{-3}
Axle Housing	1.5×10^{-3}	2.8×10^{-3}

해석 모델	상 종류
확산변태 단상(P) → 다상(α, B, P) 모델 B 모델은 AGS 성장 고려	Ferrite Pearlite Banite
무확산변태 Ms변화/변태속도 AGS 고려	Martensite
템퍼링 모델 조직분율 예측 경도변화 예측(Vickers)	Tempered M Troostite Sorbite

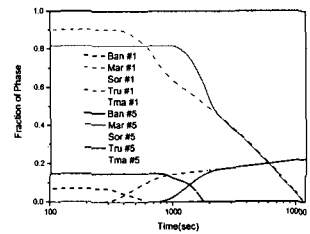


템퍼링 시간 별 경도 변화



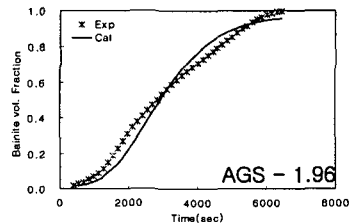
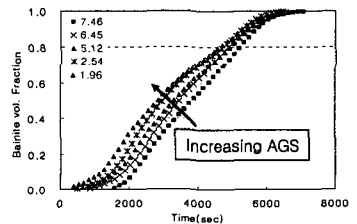
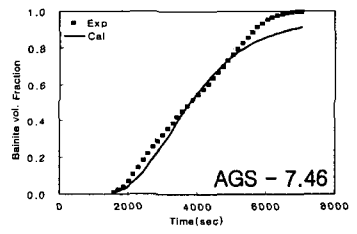
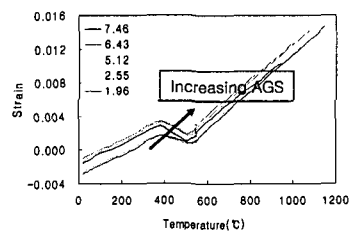
퀀칭 중 상분율 변화(M)

퀀칭 중 상분율 변화(P)



템퍼링 시간 별 상분율 변화

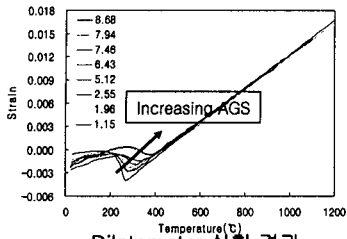
확산변태 모델 수정(AGS영향 고려)



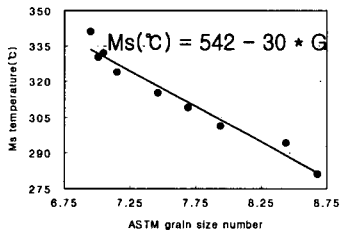
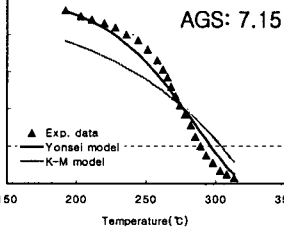
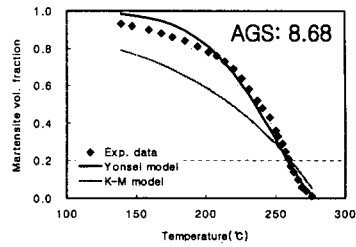
Dilatometer 실험 결과

시간별 베이나이트 분율(해석)

무확산변태 모델 수정(AGS영향 고려)



Dilatometer 실험 결과



AGS에 따른 Ms의 변화

시간별 마르텐사이트 분율(해석) 11

$$H = f_4(P_H)$$

Hollomon-Jaffe Parameter

$$P_g = \ln \int_0^T \exp\{CT\} t^{T-1} dt$$

Dorn Parameter

$$P_D = \int_0^T \exp\left\{-\frac{Q}{RT}\right\} dt$$

For Tempering model

$$H_v = H_{v_0} - B(P_D)^n$$

$$H_v = H_{v_0} - B\left(\int_0^T \exp\left\{-\frac{Q}{RT}\right\} dt\right)^n$$

Tensile strength(MPa)

$$3.412H_v - 64.3$$

Yield stress(MPa)

$$(1.17 - 0.0007y_m)UTS + 3.72y_m - 484$$

Elongation(%)

$$40 - (0.03 - 0.0001y_m)UTS$$

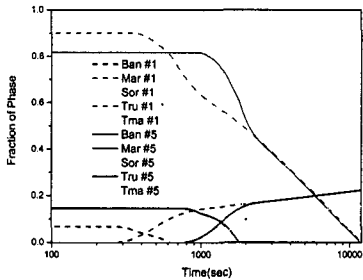
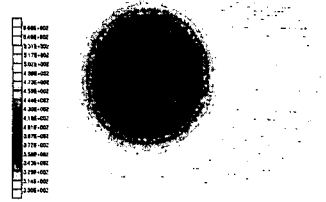
Reduction in Area(%)

$$100 - (0.06 - 0.00024y_m)UTS$$

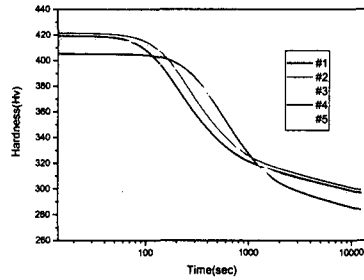
Charpy value(J)

$$296 - (0.285 - 0.00098y_m)UTS$$

해석 모델	결과
조직분율예측	Martensite -> Tempered M Tempered M -> Troostite Bainite -> Troostite Troostite -> Sorbite
경도 예측	시간에 따른 비커스 경도

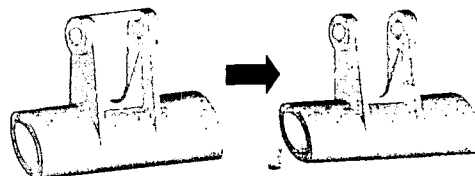
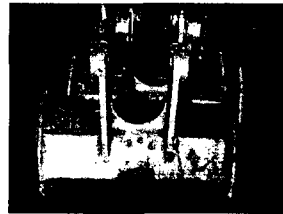
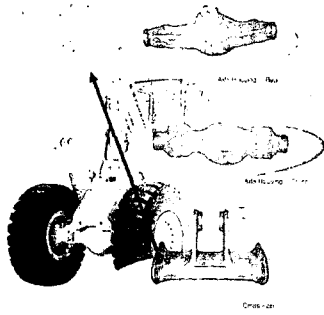


템퍼링 시간 별 상분율 변화



템퍼링 시간 별 경도 변화

Cross Pipe 900°C 공랭



기존 방안
변형방지대 설치

개선 방안
변형방지대 제거

CROSS PIPE 적용 이



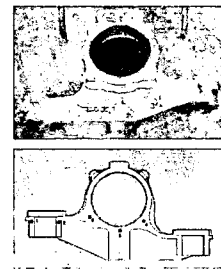
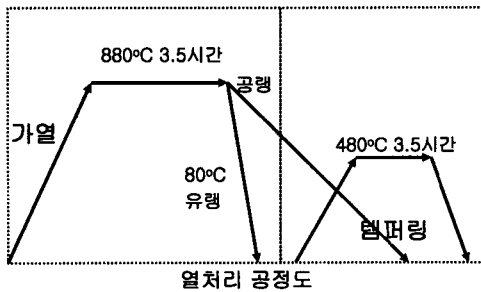
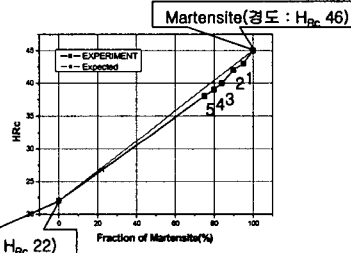
	초기방안	수정방안	결과비교
온도분포 (열처리 후 10,000초)			연결부의 온도 초기방안 45℃ 수정방안 55℃
잔류응력			최대주응력 초기방안 29MPa 수정방안 37MPa
변형량		초기방안 A 부분 1.66XE-3 m B 부분 5.5XE-3 m 수정방안 A부분 1.62XE-3 m B 부분 5.5XE-3 m	변형방지대 제거 가능

15

QUENCH BOX 적용 이



- 열처리조건
 - 재질 : CrMoSC1(KSD 4102)
 - 880°C 유지 후 공랭
- 공정개선
 - 열처리 후 기계적 성질이 기준에 미흡
 - 유랭(Quenching)에 의한 공정 개선 검토
 - 부위 별 조직 분율 예측
 - 조직 관찰 기계적 성질 측정

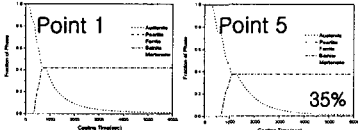


16

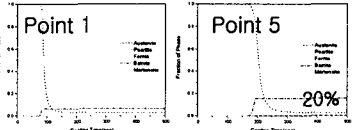
공랭

유랭

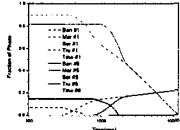
템퍼링



위치별 상분율 변화곡선



위치별 상분율 변화곡선



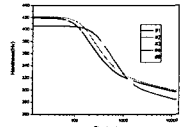
시간별 분율 변화



30분 경과 후 조직분율



250초 후 조직분율



시간별 경도 변화



열응력/변형해석

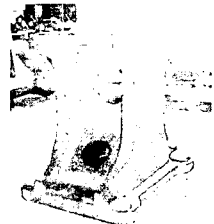


열응력/변형해석

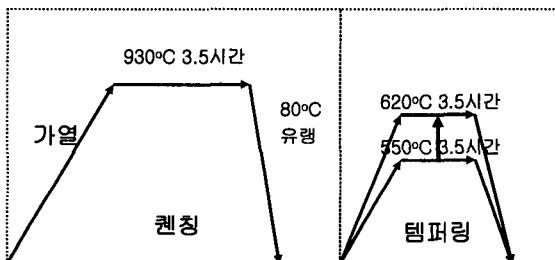


250초 후 M분율

- 열처리조건
 - 재질 : CrMoSC1(KSD 4102)
 - 송온 온도 : 930°C
 - 유랭 후 템퍼링
- 공정개선
 - 템퍼링 후 표면경도가 목표치(220Hb)를 초과
 - 템퍼링 온도 상승 또는 템퍼링시간 연장



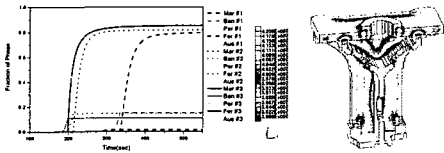
제품 사진



열처리 공정도

시편 채취 위치

유랭



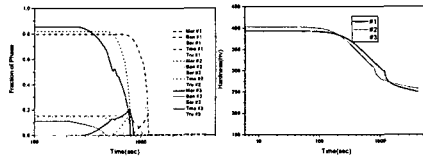
유랭 중 온도변화

유랭 후 온도분포

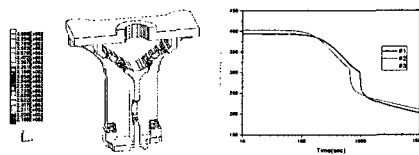


유랭 중 상분율 변화

템퍼링



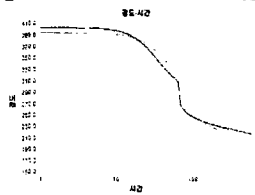
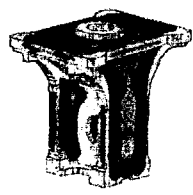
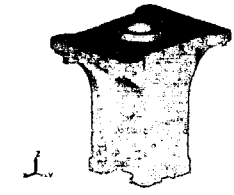
템퍼링 중 변화곡선(570°C)



템퍼링 중 경도 변화(620°C)

본 시스템은 열처리 공정에서 발생하는 온도, 시간, 냉각률, 온도 분포 등 다양한 데이터를 실시간으로 수집, 분석, 시각화하여 열처리 공정의 최적화를 지원합니다.

- 온도
- 시간
- 냉각률
- 온도 분포
- 열처리 공정
- 열처리 결과
- 열처리 비용
- 열처리 품질



열처리 분석 시스템

열처리 온도: 100°C

열처리 시간: 100초

열처리 냉각률: 1°C/초

열처리 온도 분포: 100°C

열처리 결과: 성공

열처리 비용: 1000원

열처리 품질: 우수

열처리 공정: 열처리

열처리 장비: 열처리 장치

열처리 재료: 열처리 재료

열처리 환경: 열처리 환경

열처리 안전: 열처리 안전

열처리 유지보수: 열처리 유지보수

열처리 교육: 열처리 교육

열처리 연구개발: 열처리 연구개발

열처리 마케팅: 열처리 마케팅

열처리 인사관리: 열처리 인사관리

열처리 재무관리: 열처리 재무관리

열처리 생산관리: 열처리 생산관리

열처리 품질관리: 열처리 품질관리

열처리 환경관리: 열처리 환경관리

열처리 안전관리: 열처리 안전관리

열처리 유지보수: 열처리 유지보수

열처리 교육: 열처리 교육

열처리 연구개발: 열처리 연구개발

열처리 마케팅: 열처리 마케팅

열처리 인사관리: 열처리 인사관리

열처리 재무관리: 열처리 재무관리

열처리 생산관리: 열처리 생산관리

열처리 품질관리: 열처리 품질관리

열처리 환경관리: 열처리 환경관리

열처리 안전관리: 열처리 안전관리

