

# 보론강을 이용한 CTBA의 후열처리 공정 실험 및 해석

윤석진<sup>1</sup>·박종규<sup>1</sup>·김양수<sup>1</sup>·서창희<sup>2</sup>·이경훈<sup>3</sup>·김현영<sup>4#</sup>

## Try out and Analytical Researches on Quenching Process of Coupled Torsion Beam Axle using Boron Steel Tube

S. J. Yoon, J. K. Park, Y. S. Kim, C. H. Suh, K. H. Lee, H. Y. Kim

### Abstract

The hot press forming process, which is the press hardening of steel parts using cold dies, can utilize both ease of shaping and high strength due to the hardening effect of rapid quenching during the pressing. In this study, a thermo-elastoplastic analysis of the hot press forming process using the finite element method was performed in order to investigate the deformation behavior and temperature history during the process and the mechanical properties of the pressed parts.

**Key Words :** Hot Press Forming, High-strength Boron-alloyed Steel, Phase Transformation, Finite Element Analysis, Thermo-elastoplastic analysis

### 1. 서론

최근 자동차 산업에서 중요한 과제 중 하나는 차량 안전 특성을 증가시키며, 동시에 연료소비를 줄일 수 있는 경량 소재의 사용이 확대되고 있다.[1] 그러나 일반적으로 고강도 강판의 경우 낮은 연신율과 높은 항복강도 때문에 성형성이 열악하고 성형 후 잔류응력에 의한 스프링백 현상 등의 문제점을 안고 있기 때문에 상당한 성형 기술이 요구된다. 이러한 고강도 강판의 성형성 문제를 해결하고 성형 후 매우 높은 수준의 강성을 유지하는 자동차 부품을 제조하기 위하여 1975년 스웨덴의 SAAB Hardtech사에서 핫 프레스 포밍(hot press forming)공정이 개발된 이후 현재 수십종의 자동차 부품에 대하여 적용되고 있다.[2] 핫 프레스 포밍 공법은 보론강과 같이 경화능이 큰 재료의 판재를 고온(보통 900℃ 이상)상태로 가열 후 상온의 금형을 이용하여 성형하는 공법으로

재료 성형성 증가효과와 금형과의 접촉으로 인한 수초 동안의 급냉에 의한 판재의 경화효과를 얻을 수 있으므로 1회의 프레스 공정으로 더 많은 가공량을 부여 할 수 있고 성형된 강판의 기계적 성질을 향상시킬 수 있는 장점이 있다. 이러한 핫 프레스 포밍 공법을 통해 생산된 부품은 원소재가 가진 인장강도(tensile strength)의 3~4배 가까이 증가하게 되어 300MPa 정도의 인장강도가 1500MPa이상의 인장강도를 가진 부품이 된다.[3] 핫 프레스 포밍 공법은 최근 범퍼 빔, A-필러, B-필러, 측면 레일 부재, 도어 빔등의 복잡한 형상과 높은 비강도를 요구하는 부품을 생산하고 있으며, 핫 프레스 포밍 공정 및 이 공정에 사용되는 보론강 소재의 기계적 성질에 관한 다양한 연구가 진행되어왔다.[4] 또한 핫 프레스 포밍 공정에는 900℃ 이상의 고온에서 오스테나이트화 한 후 성형하고 금형 내에서 급속히 냉각 시키는 직접 핫 프레스 포밍

1. ㈜화신 기술연구소  
2. 대구기계부품연구원  
3. 솔루션 랩  
4. 강원대학교 기계·메카트로닉스공학과  
# 교신저자: 강원대학교 기계·메카트로닉스공학과  
E-mail : khy@kangwon.ac.kr

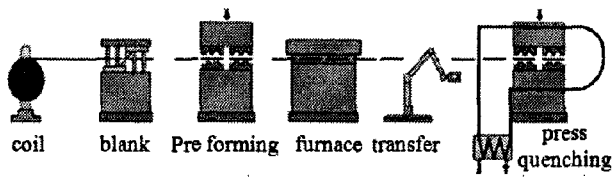


Fig. 1 Indirect hot press forming process

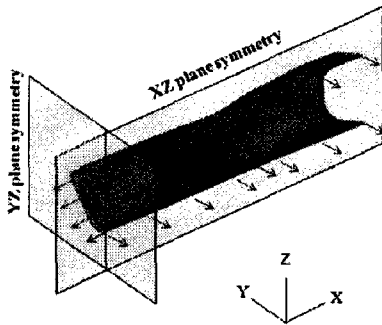


Fig. 2 Finite element model of CTBA

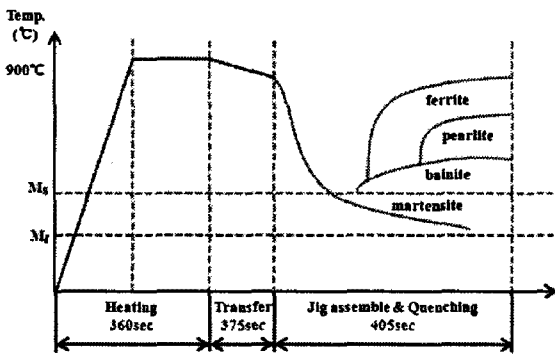


Fig. 3 Process condition

Table 1 Simulation procedure of indirect hot press forming process

Operation	Time (sec)	Environment (Temperature)	Heat transfer coefficient
Heating	0~360	Furnace (930°C)	0.2
Transfer	360~375	Air (20°C)	0.04
Cooling jig assemble	375~385	Air (20°C)	0.04
Quenching	385~405	Water (15°C)	5
Unloading	405~435	Air (20°C)	

(direct hot press forming) 공정과 상온에서 대부분의 성형을 완료하고 성형품을 고온 가열 후, 급냉시켜 완료하는 후열처리 공정으로 나눌 수 있다.

## 2. 본 론

### 2.1 기존 연구

핫 프레스 포밍 공정에 대한 기존의 연구에는 M. Merklein 등[5]은 Arcelor 에서 제조한 USIBOR 1500P 를 사용하여 온도, 변형률 속도 및 냉각 속도가 오스테나이트 상태의 고온 성형 물성 값에 높은 영향을 미침을 실험적으로 확인하였으며, 전산 시뮬레이션의 경우에도 이러한 변수를 고려해야 한다고 제시하였다. Tekkaya 등[6]은 열과 기계적 거동을 분리(decoupled)하여 두 개의 유한요소 패키지(MARC 2005 및 PAM-STAMP 2G)로 핫 프레스 포밍 공정을 해석함으로써 열-기계적 거동 결합 시뮬레이션의 경우에 비하여 계산 시간을 80% 이상 단축하였다. 이상의 방법들에서는 열 및 상변화를 결합한 방법들은 없었다. 핫 프레스 포밍 공정의 경우, 공정 중 조직 변화가 광범위하게 일어나므로 상변태를 고려하는 것이 바람직하다.

본 연구에서는 Fig. 1과 같이 후륜현가 장치인 커플드 토션빔 액슬(coupled torsion beam axel) 후열처리 공정의 상변태를 고려한 유한요소해석을 통해 공정조건에 따른 형상 변화를 예측하고 냉각 지그 설계에 관한 정보를 얻고자 하였다.

### 2.2 유한요소 모델링

유한요소해석에 적용한 튜브의 열-기계적 물성치는 JMatPro를[7] 통해 구한 값을 사용하였다. 또한 상온 성형이 완료된 CTBA모델은 Fig. 2와 같으며 두께방향 요소(element) 개수는 3개이며, 대칭 조건을 고려하여 1/4 모델을 선택하였다. 해석 공정은 Table 1과 Fig. 2와 같이 상온 성형 완료된 소재를 930°C로 예열된 가열로에서 가열하여 오스테나이트 상으로 변태 시킨 후, 가열로에서 이송 및 냉각 지그 체결 시의 공냉, 냉각수 내에서 쿨링, 냉각 지그에서의 언로딩(unloading)으로 나누어 해석을 진행하였다.

Table 2 Simulation procedure of quenching process

	Time (sec)	Environment (Temperature)	Heat transfer coefficient
Case1	10	15°C	5
Case2			0, 2, 3, 5
Case3	0.1, 0.2, 0.2, 10		0, 2, 3, 5

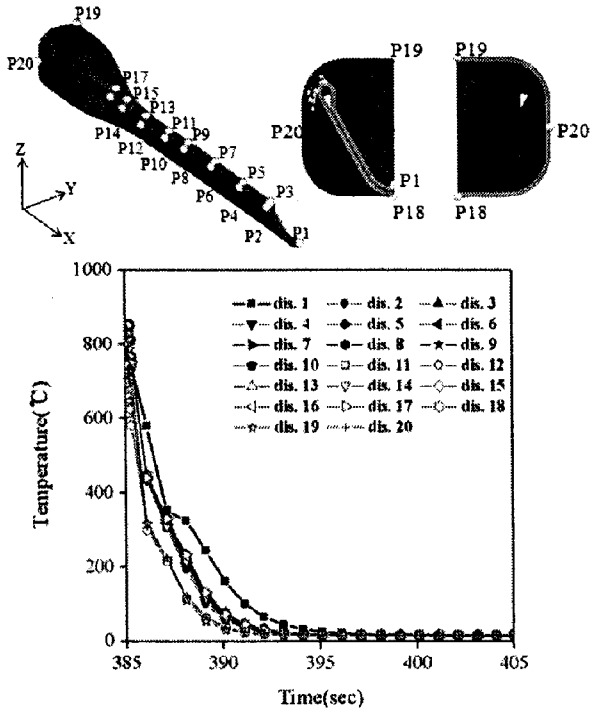


Fig. 3 Analysis result of temperature histories according to the time for various position from quenching process

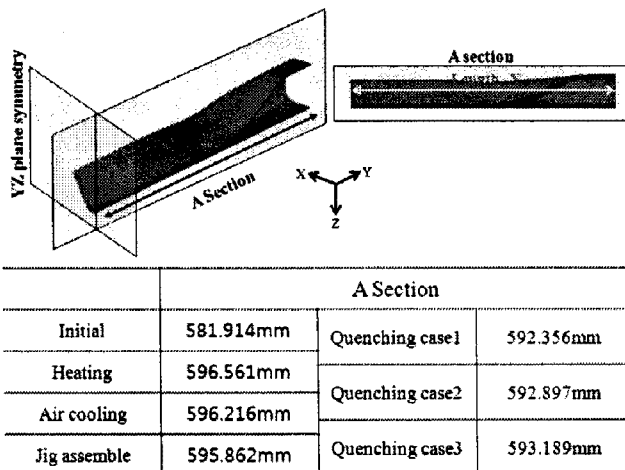


Fig. 4 Dimensional change of quenching process

### 2.3 가열-이송 공정 해석 결과

가열공정은 CTBA를 930°C 가열로에 열전달 계수 0.1N/sec/mm/C로 360초간 가열한 것으로 20개 포인트(point)를 추적하여 가열 상태를 확인 하였다. 또한 X, Y, Z축 각 방향에 대하여 열변형량을 가열하기 전 기준 지점에 대하여 측정하였으며, 특히 Y방향에 대하여 10.9mm의 길이 변화가 일어난 것을 확인하였다. 또한 전체 체적은 249838mm<sup>3</sup>이었지만 가열공정 후 263537mm<sup>3</sup>으로 늘어난 것을 확인하였다. 이송 공정에서는 보론강을 930°C로 가열한 후 냉각지그에 장착하여 물에 넣기 전까지의 공정으로 공기와 냉각지그에 의한 열전달로 인한 열손실 및 냉각 수축 현상을 살펴 보았다. 이송공정에서도 20개의 각 지점에서 15초 후에 11번 지점은 867°C로 최고 온도로 나타났고 18~20번 지점은 857°C로 최저 온도로 나타났다. 이는 냉각 지그와 접촉이 일어나는 부분이므로 공기와의 접촉되는 부분보다 더 많은 열손실이 일어난 것으로 판단된다. 또한 이송공정에서의 열변형량은 가열공정에서 초기 조건 대비 X방향으로 10.9mm, 이송공정에서는 10.18mm로 각각 열팽창된 상태로 공정을 마친 것으로 마쳤으며, 체적 변화는 초기 소재 대비 팽창한 것을 확인할 수 있었다.

### 2.4 퀴칭-언로딩 공정 해석 결과

퀴칭 공정은 냉각 지그가 장착된 CTBA의 수냉시 공정이다. 본 연구에서는 Table 2와 냉각 시간은 동일한 조건에서 열전달 계수와 냉각시의 CTBA와 물이 닿는 면적과 시간을 고려하여 퀴칭 공정의 서로 다른 조건으로 해석의 신뢰성을 높이고자 하였다. 세가지 경우의 해석 결과는 Fig. 4와 같이 비교했다.

Case3 퀴칭 공정에서 열변형량은 376초 정도까지 열수축이 일어나다가 다시 팽창하는 것을 확인할 수 있다. 이는 오스테나이트(FCC)상에서 마르텐사이트(BCT) 상으로 변태가 일어나면서 팽창을 했기 때문이다. 또한 체적변화는 Fig. 5와 같이 퀴칭공정 동안 262119 mm<sup>3</sup>에서 257434mm<sup>3</sup>으로 1.79% 줄어든 것을 확인하였다. 또한 퀴칭 공정이 끝난 후 상분포를 확인한 결과 모든 부분이 마르텐사이트 변태가 된 것을 알 수 있었다.

### 3. 트라이 아웃

후열처리 공정조건에 의한 트라이 아웃을 진행

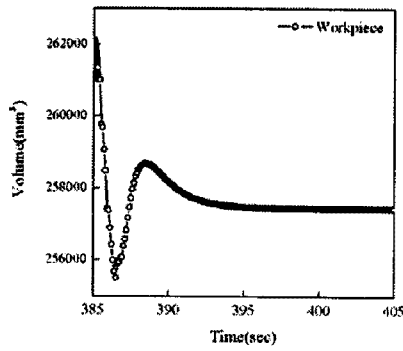


Fig. 5 Volume change of quenching process

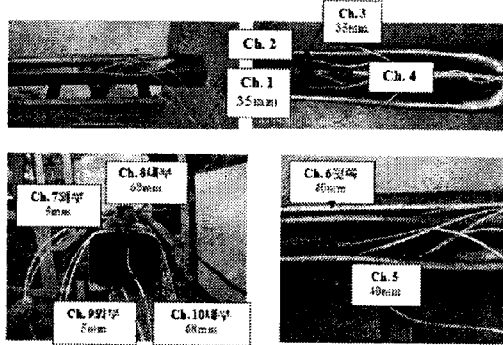


Fig. 6 Position of thermo couple

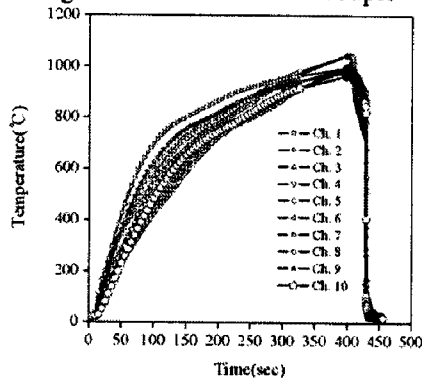


Fig. 7 Try out result of temperature histories according to the time for various positions from CTBA

하였다. 가열 온도는 실제 공정과 동일한 온도인 900°C까지 소재를 가열하였고 그 다음 소재의 온도 변화 측정을 위해 열전식 온도 지시계를 사용하였으며 열전대의 각 위치는 Fig. 6과 같다. 열전대의 각 위치는 소재 형상에 의한 가열로에서의 열전달 계수 값의 차이와 쿨링 시 CTBA 안쪽의 성형된 부분의 경우 물이 가장 마지막에 닿기 때문에 열전대의 부착 위치를 서로 다르게 하여 실험하였다. 실험에서의 쿨링은 428초부터 445초까지 수행되었으며 따라서 온도 측정 종료시간은 455초이며 Fig. 7과 같이 시간 별 온도 변화 데이터를 얻었다.

## 4. 결론

본 연구에서는 보론 강에 대하여 후열처리 공법을 적용한 실험을 실시하여 이에 대한 소재의 열전달, 상변태, 열변형에 대해 평가하였다. 또한 실험의 검증에 위해 변형, 상변태, 열전달을 고려한 후열처리 공정을 DEFORM-3D V6.1로 해석하였다. 그 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 시제품과 열전달, 상변태, 열변형 해석과의 비교를 통해 해석의 신뢰성을 검증 하였다.
- (2) 후열처리 공정시 상분포를 관찰해 본 결과 마르텐사이트로 변한 것으로 확인되었으며, 이는 소재의 고강도화로 인하여 자동차 부품 제조시 충돌성능 향상 및 고안전성을 실현할 수 있을 것으로 예상된다.
- (3) 후열처리 냉각 지그 사용시 소재의 뒤틀림을 줄일 수 있었지만, 단면 방향의 각도 및 크기 제어를 하기 위해 추가적인 검토가 필요할 것으로 생각된다.

## 5. 참고문헌

- [1] M. Merklein, J. Lechler, 2006, Investigation of the thermo-mechanical properties of hot stamping steels, Materials processing technology, vol. 177, pp. 452~455
- [2] 김형섭, 서민홍, 김성주, 백승철, 방원준, 이흥노, 2001, 프레스경화 공정 시 강관의 열-변형 거동의 유한요소해석과 실험적 연구, 대한금속.재료학회지, 제39권, 제9호, pp. 1076~1083
- [3] 이종신, 채명수, 박춘달, 김영석, 2007, 고온성형 위한 고강도 보론강의 기계적 특성 및 마이크로구조 연구, 대한기계학회 춘계학술대회, pp. 344~349
- [4] 강경필, 이경훈, 김영석, 지민욱, 서영성, 보론 강관의 핫 프레스 포밍 공정 시 재료 물성 모델러와 DEFORMTM-HT를 활용한 상 변태 예측, 한국소성가공학회지, 제17권, 제4호, pp. 249~256
- [5] M. Geiger, M. Merklein, C. Hoff, 2005, Basic Investigations on the Hot stamping steel 22MnB5M, Advanced Materials Research Vol. 6-8, pp. 795~802.
- [6] A. Turetta, S. Bruschi, A. Ghiotti, 2006, Investigation of 22MnB5 formability in hot stamping operations, Journal of Materials Processing Technology, Vol. 177, pp. 396~400.
- [7] JMatPro, 2007, <http://www.sentsoftware.co.uk>