

핫스탬핑 공정조건에 따른 기계적 특성

김훈동[#] · 문만빈¹ · 이승하² · 윤경원³ · 유지홍³ ·

The Effect of Hot Stamping Operation Condition on the Mechanical Properties

H. D. Kim, M. B. Moon, S. H. Lee, K. W. Yoon, J. H. Yoo

Abstract

The Hot Stamping process, which is the hot pressing of steel parts using cold dies, can utilize both case of shaping and high strength due to the hardening effect of rapid quenching during the pressing. We carried out experiments of quenching rate and tempering treatments at temperatures of 200 °C and 300 °C and different soaking times. In this study, the mechanical properties and microstructure of micro boron alloyed steels after heat treatments are compared.

Key Words : Hot Stamping, Boron Steel, Sheet Forming, Phase Transformation

1. 서론

유럽이나 미국에서의 승객 안정성을 보장하기 위한 충돌 성능의 기준이 더욱 엄격해지고 더불어 연비향상, 즉 지구온난화의 주요원인이라고 할 이산화탄소의 배출량에 대한 규제가 심화되고 있어, 이에 대한 부품소재개발의 필요성이 크게 대두되고 있다. 차량의 경량화와 안정성 향상을 위한 방법으로 강도가 필요한 부위나 보강재 등의 부품을 초고강도강판(Ultra High Strength Steel)으로 대체하는 방법과, 관재액압성형법(Hydroforming), 테일러드블랭킹법(Tailored Blanking) 등의 제조공정을 통하여 강성을 크게 하는 방법이 적용되고 있다. 핫스탬핑(Hot Stamping) 또한 위와 같은 기술개발의 요구에 따라 최근 주목 받고 있는 기술로서, 1500 MPa 이상의 고강도 실현이 가능하고, 고온에서 성형되기 때문에 성형성이 우수하고, 성형품의 치수정밀도가 양호하며, 유동응력이 낮아 성형하중이 작고, 잔류응력이 작아 지연파괴의 위험이 적다는 큰 장점을 갖는 공정이다.^{1)~3)}

핫스탬핑 공정은 보론강과 같이 경화능이 큰 재료의 관재를 A_c3 온도 이상의(대체로 900 °C 이상) 고온에서 5~10분 동안 가열하여 조직을 오스테나이트로 완전히 변태시킨 후, 상온의 금형으로 신속히 이동하여 성형과 동시에 급속히 냉각시켜 마르텐사이트 조직을 얻는 기술로서, 다이 퀘칭(Die Quenching), 핫 프레스 포밍(Hot Press Forming) 프레스 경화법(Press Hardening)등으로 불린다. 핫스탬핑 기술이 적용되고 있는 부품으로는 도어빔(Door Beam), 범퍼빔(Bumper Beam), 루프레일(Roof Rail), 필라 리인포스(Pillar Reinforcement) 등이 있고, 제조된 부품은 1500 MPa 이상의 인장강도를 나타내므로 기존의 자동차용 강판 부품에서 강성 보강을 위해 덧댄 여러 개의 보강부재를 제거할 수 있어 차체경량화 및 강성보강 효과가 매우 크다. Fig.1에 핫스탬핑 기술이 적용된 부품을 나타내었다.

본 연구는 이상의 연구들에서 나타난 고온상태의 소재 변형거동, 열적특성 및 공정 후 기계적특성에 관한 결과를 바탕으로 상용 소재에 대하여 핫스탬핑 모사시험을 적용하였다. 성분원소 변화에 따른 핫스탬핑 공정 후 소재별 기계적특

1. 현대하이스코 기술연구소 2. 현대제철 기술연구소
3. 현대기아자동차 연구개발총괄본부
교신저자: 현대하이스코 기술연구소,
E-mail: hy720208@hysco.com

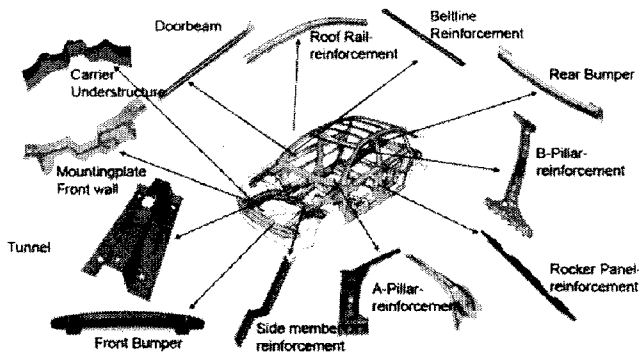


Fig.1 The application parts of Hot Stamping process

성에 관한 것으로, 냉각속도 변화에 의한 경화능의 차이 및 템퍼링 열처리에 의한 인장 및 미세조직의 변화를 관찰하였다.

2. 본 론

2.1 실험 방법

본 연구에 사용된 3종의 보론강 조성을 Table. 1에 나타내었다. 강의 경화능을 높이기 위하여 B, Mn, Cr 및 Si 등이 첨가되어있고, Ni, Cr, Si의 함량이 소재에 따라 약간의 차이를 보이고 있다. 소재의 두께는 모두 1.2 mm로 동일하고, 고온으로 가열 시 소재표면의 산화를 방지하기 위하여 Al-Si 합금이 도금된 소재를 사용하였다. 소재의 초기 미세조직을 Fig. 2에 나타내었다.

보론강 #1, #2, #3번 소재에 대하여 핫스탬핑 공정 모사 실험을 실시하였다. 소재의 오스테나이트화 가열은 대기분위기의 저항가열로를 이용하였고, 가열온도는 Ac_3 온도 이상의 900 °C와 950 °C로 하였으며, 가열시간은 1분에서부터 5분까지 실험하였다. 시편의 마르텐사이트 변태를 위한 퀴칭은 냉각속도의 영향을 알아보기 위하여 물과 냉각오일의 혼합비에 따른 세 가지 조건(물 100 %, 물 80% + Oil 20%, 물 50% + Oil 50%)으로 나누어 실시하였다. 마르텐사이트 변태 경화된 보론강의 템퍼링 열처리에 의한 영향을 알아보기 위하여 200 °C, 300 °C에서 10분, 30분, 60분씩 가열하였다.

	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Ni	Al	Co	Cu	Nb	Ti	V	B
#1	0.18	0.35	1.06	0.016	0.003	0.20	0.009	0.02	0.02	0.003	0.009	0.004	0.02	0.003	0.002
#2	0.21	0.09	1.43	0.016	0.002	0.48	0.010	0.01	0.03	0.002	0.007	0.004	0.02	0.003	0.002
#3	0.20	0.25	1.27	0.015	0.001	0.20	0.008	0.02	0.04	0.003	0.009	0.003	0.02	0.003	0.003

2.2 결과 및 고찰

2.2.1 화학 조성의 영향

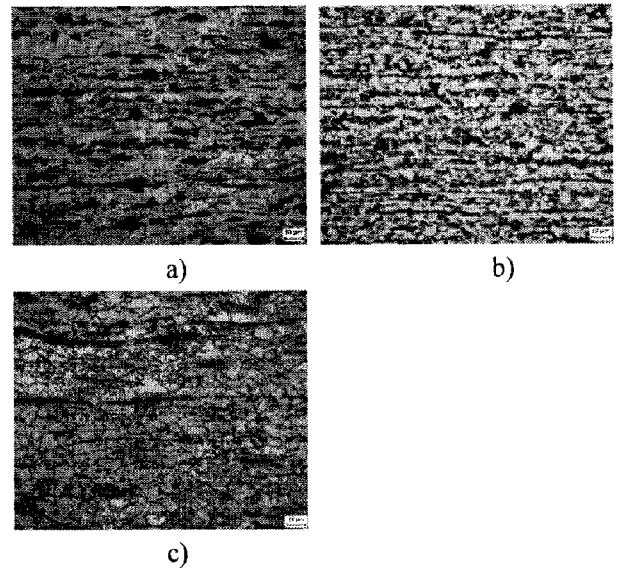


Fig.2 Light optical microscopy images of as-delivered sheets, a) #1, b) #2, c) #3

소재의 기계적, 화학적특성에 미치는 합금원소의 영향은 대단히 중요하다. 특히 탄소(C)의 경우 기계적특성 변화에 가장 큰 역할을 하며, 함량이 증가할수록 인장강도와 경도가 증가하게 된다. 본 실험에서는 #2번 소재가 보다 높은 강도를 나타낼 것으로 예상할 수 있고, 수냉 실험결과 #1, #3번 소재에 비해 100 MPa 정도 큰 인장강도 값을 나타내었다.

Fig. 3에 상태도 계산 프로그램 Thermo-Calc을 이용하여 계산된 Fe-C합금상태도를 나타내었다. 보론(B)은 수십 ppm의 미소량을 첨가하여도 경화능이 크게 증가하는데⁴⁾ 이는 오스테이트 결정립계에 $Fe_{23}(CB)_6$ 석출물이 편석되어 페라이트의 핵생성 및 성장을 방해하기 때문이라는 보고와⁵⁾ 보론이 오스테나이트 결정립의 계면 에너지를 낮추어 페라이트의 핵생성을 지연시키게 한다는 결과가 보고되고 있다.⁶⁾

2.2.2 오스테나이트화 가열

Fig. 4는 #2번 소재를 700 °C에서부터 900 °C까지 각 온도에서 5분간 가열 후 급냉한 시편과(a), 900 °C의 가열온도에서 1 ~ 5분간 가열 후 급냉한 시편의 인장시험 한 결과(b)이다

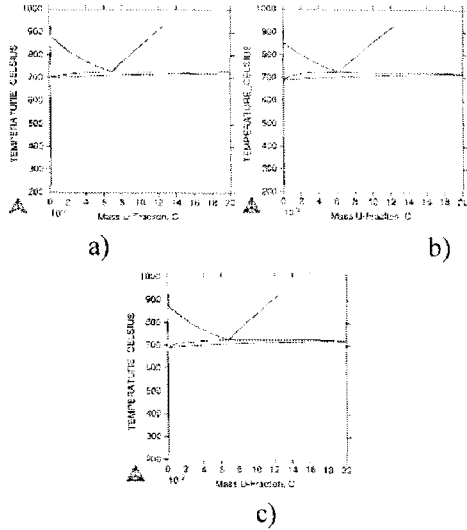


Fig.3 Phase Diagrams calculated for boron alloyed steels, a) #1, b) #2, c) #3

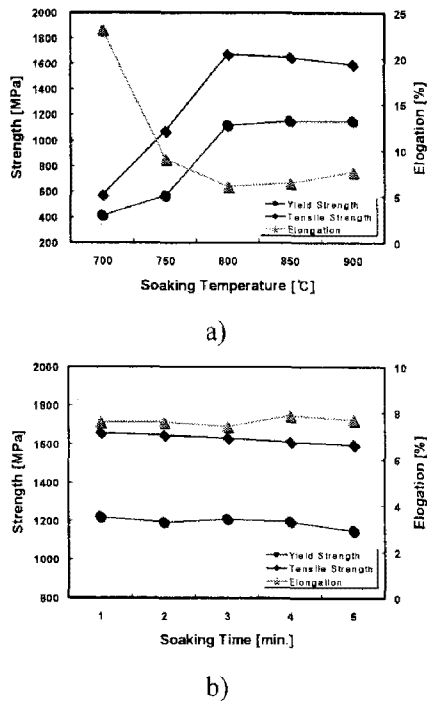


Fig. 4 Tensile Property as a function of a) austenization soaking temperature (for 5min), b) austenization soaking time (at 900 °C)

2.2.3 냉각속도 변화

Fig. 5는 본 실험에 사용된 보론강의 연속냉각변태선도를 나타낸 것이다. 오스테나이트화 온도

900 °C 에서 소재를 냉각할 경우, 27 K/sec. 이상의

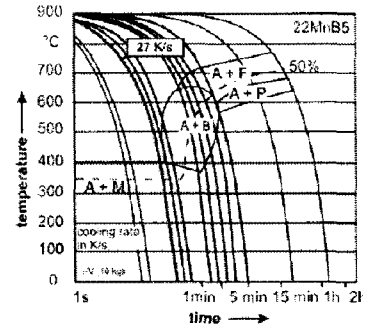


Fig. 5 Continuous cooling temperature curves of boron alloyed steel.

냉각속도일 때 베이나이트변태 없이 완전한 100 % 마르텐사이트조직의 고강도 재질을 얻을 수 있음을 알 수 있다. Fig. 6은 오스테나이트화 가열된 시편의 시간에 따른 온도변화를 나타낸 냉각선도이다. 물과 냉각Oil의 혼합비에 냉각속도는 100% 물에 냉각할 때 150 K/sec. 이상을 보였고, 물과 오일의 혼합비가 8:2인 경우 약 70 K/sec., 혼합비가 5:5인 경우 약 30 K/sec., 혼합비가 2:8인 경우 약 20 K/sec.를 나타내었다. Fig. 7은 #1, #2, #3 번 소재에 대하여 냉각속도를 다르게 쿼칭한 시편의 기계적특성 측정 결과를 나타낸 그림이다.

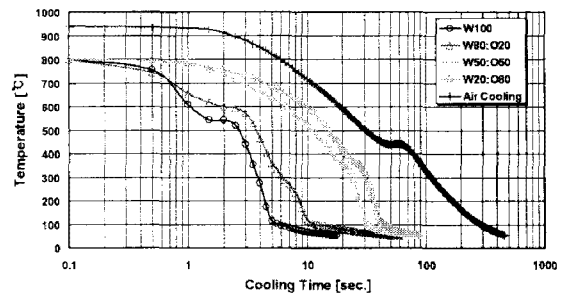


Fig. 6 Experimental cooling curves for water quenching, oil quenching and air cooling.

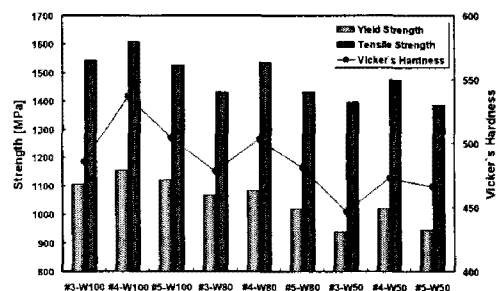
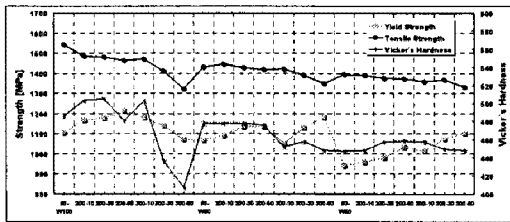


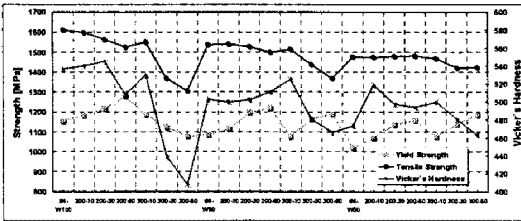
Fig. 7 Effect of cooling rate on mechanical properties of boron alloyed steel

2.2.4 템퍼링의 영향

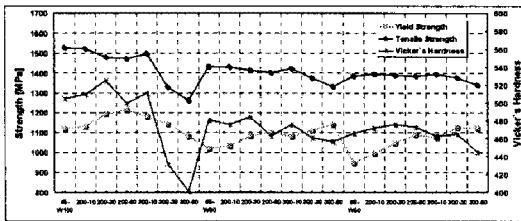
Fig. 8은 냉각속도가 다르게 퀴칭된 시편을 200 °C와 300 °C에서 각각10분, 30분, 60분 템퍼링 하여 인장특성 및 미소경도를 측정된 결과이다.



a) #1 specimen



b) #2 specimen



c) #3 specimen

Fig. 8 Effect of tempering on mechanical properties of boron alloyed steel after quenching treatment

3. 결 론

화학조성이 다른 3종의 보론강을 핫스탬핑 공정과 유사한 온도범위에서 오스테나이트화 가열-급냉-템퍼링 열처리 하여 기계적특성을 분석한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) 1500 MPa 이상의 고강도 부품을 제조하기 위한 핫스탬용 소재는 0.2 wt% 이상의 탄소와 경화능을 높일 수 있는 Si, Mn, Cr, B 등의 합금원소가 적정량 첨가되어야 한다.

(2) 핫스탬핑 공정의 첫 공정인 소재의 오스테나이트화 가열은 A_c3 온도보다 30 °C

이상의 온도가 적당하며 더 높은 온도에서 가열할수록 오스테나이트 결정립 조대화로 인해 인장강도가 감소하였다. 가열시간이 길어짐에 따라 인장강도는 다소 감소하나, 석출물 등 이차상의 완전고용으로 인해 연신율이 증가하였다.

(3) 본 실험에 사용된 3종의 보론강은 화학조성의 차이는 있지만 30 K/sec. 이상의 냉각속도로 퀴칭한 경우 모두 마르텐사이트 조직으로 변태하였다.

(4) 퀴칭 냉각속도가 빠를수록 생성되는 마르텐사이트격자의 정방성이 더 커지게 되어 매우 불안정한 에너지 상태를 갖는다. 따라서 템퍼링 시 빠르게 회복되면서 인장강도가 감소하게 되는데, 냉각속도가 큰 경우 감소 폭이 더 커지고, 300 °C에서 템퍼링이 더 크게 감소하였다. 또한 냉각속도 150 K/sec.로 냉각된 소재의 300 °C에서 60분 템퍼링은 마르텐사이트에 구속된 과포화 고용 탄소의 양이 현저하게 줄어 인장강도는 1300 MPa로 감소하였다. 템퍼링 열처리 시 석출된 탄화물의 전위 고착 작용으로 인하여 항복강도는 증가하였다.

참고문헌

1. Johnson, M. Argyris, R., and McGee, T. Int. J. Machine Tool Res., 25-50, 1996, 30
2. T. Altan, "Hot Stamping boron alloyed steels for automotive parts Part I: Process methods and uses" Stamping Journal, 40-41, 2006
3. T. Altan, "Hot Stamping boron alloyed steels for automotive parts Part II: Microstructure, material strength changes during hot stamping" Stamping Journal, 14-15, 2007
4. Thelning, K. E., "Steel and its Heat Treatment" Butterworths, 409-419, 1984
5. Sharma, R. C., Purdy, G. R., Met. Trans., 939, 1974, 5
6. Mortimer, D. A., Nicholas, M. G., Met. Sci., 326, 1976, 10