

자동차용 플렉스 플레이트 제조를 위한 핫프레스 포밍 열처리 조건 최적화

박인회¹, 이명규^{1#}, 김성준¹, 정우창²

Determination of Heat Treatment Condition for Hot Press Formed Automotive Flex Plate

I.H. Park, M.G. Lee, S.J. Kim, W.C. Jeong

Abstract

The flex plate, an automotive part which mounts to the automotive engine to transfer torque to transmission, should have considerable hardness and shape accuracy. As a way to produce the flex plate, the hot press forming technology which takes advantages of high formability at elevated temperature, enhanced strength and shape stability was introduced. Therefore, as one of major process parameters the heat treatment condition should be determined to obtain appropriate hardness in the range of manufacturer's specifications. In this study, two heat treatments, austempering and quenching and tempering (QT), were compared as feasible conditions for the hot press forming of high-carbon tool steel and the hardness and toughness after heat treatments were evaluated. The study showed that both heat treatments resulted in improved hardness but only quenching and tempering showed practicable range of toughness.

Key Words : Hot Press Forming (핫 프레스 포밍), Heat Treatment (열처리), Flex Plate (플렉스 플레이트)

1. 서 론

최근 들어 다양한 AHSS (Advanced High Strength Steel)의 개발과 함께 기존 강도의 장점을 살린 신성형법이 개발되고 있다. 특히 높은 강도에 따른 낮은 성형성을 극복하기 위하여 일반강의 우수한 고온 성형성과 급랭시의 상변태 특성을 이용한 핫 프레스 포밍(Hot Press Forming) 기술이 1990년대 말부터 개발되어 현재는 그 응용 범위를 빠른 속도로 넓혀가고 있다[1,2]. 핫 프레스 포밍은 기존의 상온 성형법과는 달리 모재를 900°C 이상으로 가열한 후 고온 성형과 퀴칭(Quenching)을 동시에 실시하는 공정으로 성형 전 모재의 강도를 성형 후 약 2~3배 이상 증가 시킬 수 있다. 이 때 중요한 공정 변수 중의 하나가 냉각 공정으로써 급형 내부에 냉각수를 순환시키거나 부품 표면에

오일을 직접 접촉시켜 강도가 높은 마르텐사이트 변태를 유도하게 된다[3,4].

본 연구에서는 자동차 엔진과 변속기 사이에 장착되어 엔진 동력을 변속기에 전달하는 역할을 하는 플렉스 플레이트(Flex Plate)를 핫 프레스 포밍 기술을 이용하여 제조하고자 하였다. 플렉스 플레이트는 경도가 높고 형상이 우수해야 한다. 핫 프레스 포밍 기술을 적용하면 스프링 백이 억제되어 우수한 형상을 용이하게 확보할 수 있지만, 제품에 요구되는 경도를 얻기 위해서는 열처리 조건의 최적화가 필요하다. 그러므로 본 연구에서는 오스템퍼링(Austempering), 퀴칭과 템퍼링(Quenching and Tempering, QT) 등 2가지 종류의 열처리 방법을 대상으로 열처리 조건을 변화시켜 플렉스 플레이트 제조를 위한 최적 열처리 조건을 도출하였다.

1. 한국기계연구원 부설 재료연구소
2. 대구가톨릭대 기계자동차공학부
교신저자: 재료연구소, E-mail:mang92@kims.re.kr

2. 실험 내용

본 연구에서 사용된 재료는 탄소가 약 0.85 wt% 포함된 탄소공구강인 JIS 규격 SK5 강이며 자세한 화학조성은 표 1에 나타내었다. 경도는 로크웰 C 스케일(HRC)로 측정하였으며, 인성(Toughness) 측정을 위하여 시편을 5mm x 10 mm x 55 mm 의 서브사이즈로 준비하였다. Fig. 1에 본 연구에 사용된 두 가지 열처리 사이클을 도식적으로 나타내었으며, 모든 열처리는 염욕로(Salt Bath)를 사용하였다. 첫 번째 열처리는 870°C에서 10분간 가열한 후 등온변태시키는 오스템퍼링이며, 두 번째 열처리는 퀴칭 및 템퍼링으로 이루어져있다. 퀴칭오일의 온도는 60°C이었다. 충격 시험은 500J 용량의 샤르피 충격시험기를 이용하여 상온에서 실시하였다. 또한, 미세조직 관찰을 위해 시편을 3% Nital 용액으로 에칭한 후 광학현미경을 이용하였으며 충격시험 후의 파면은 SEM으로 관찰하였다.

Table 1 Chemical compositions of carbon tool steel, JIS SK5 (unit: wt%)

C	Si	Mn	P	S
0.8~0.9	≤0.35	≤0.5	≤0.03	≤0.03

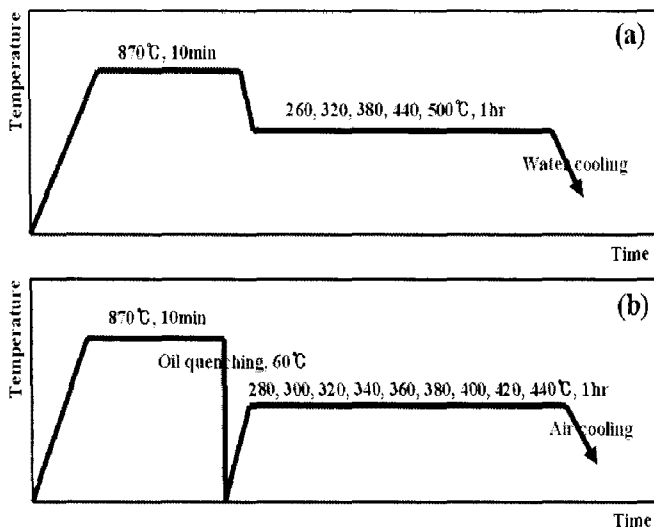


Fig. 1 Schematic illustration of heat treatments: (a) austempering, (b) quenching and tempering

3. 실험 결과 및 고찰

3. 1. 광학현미경 조직

Fig. 2에 오스템퍼링한 시편의 등온변태온도에 따른 광학현미경 조직 변화를 나타내었다. SK5강의 Ms온도는 약 210°C로 오스템퍼링 공정에서의 등온 처리 온도는 Ms온도 위인 260°C에서 60°C간격으로 500°C까지 실시하였다. Fig. 2(a)와 같이 260°C에서 등온 처리한 경우 마르텐사이트와 베이나이트의 혼합 조직이 관찰되었는데, 이는 미세경도 실험을 통하여 확인할 수 있었다. Figs. 2(b)와 (c)의 경우 각각 380°C와 500°C에서 등온 처리한 후 베이나이트와 미량의 펄라이트의 혼합상이 얻어질 수 있음을 보여준다. Fig. 3은 QT 재의 조직 사진을 보여주고 있다. Fig.3(a)는 퀴칭 후의 미세조직 사진으로 마르텐사이트와 약 17%의 잔류 오스테나이트로 구성됨을 알 수 있다. Figs. 3(b) 및 (c)는 퀴칭 후 340°C와 400°C에서 1시간 동안 템퍼링한 후의 조직으로 마르텐사이트로부터 템퍼드 마르텐사이트가 얻어짐을 보여준다.

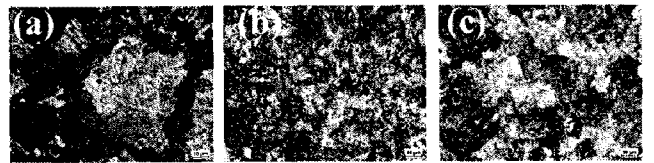


Fig. 2 Optical micrographs of austempered steels: (a) 260°C, (b) 380°C, (c) 500°C

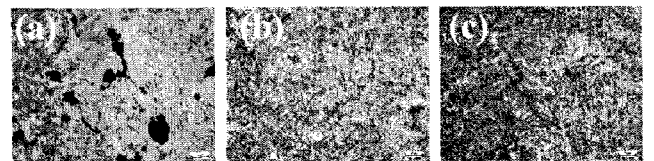


Fig. 3 Optical micrographs of quenched and tempered steels: (a) as-quenched, (b) tempered at 340°C, (c) tempered at 400°C

3. 2. 경도

Fig. 4에 열처리 조건에 따른 경도변화를 나타내었다. 오스템퍼링의 등온변태온도와 QT의 템퍼링 온도가 높아지면 경도가 감소함을 알 수 있다. 또한, 오스템퍼링 열처리를 통해 얻어진 베이나이트 조직은 템퍼드 마르텐사이트 조직에 비해 현격히 낮은 경도 값을 나타내고 있다. 이는 문헌에서 보고된 일반탄소강의 경도와 비교해 상대적으로 낮은 값으로 시편 두께 방향으로의 열전달이 불완전하여 소량의 펄라이트상이 생성되었을 가능성

을 가진다. 쿼칭 후의 경도는 약 70 이었으나 템퍼링 온도가 높아질수록 경도가 급격히 감소하였다. Fig. 4에서 오스템퍼링 열처리의 경우 경도 감소의 기울기가 3개의 영역(I, II, III,)으로 구분됨을 보여주는데, 이는 템퍼링 온도에 따라 발생하는 서로 다른 상들이 혼합되어 있는 가능성을 내포한다. 소량이 함유된 펄라이트 부피 분율을 고려하여 260°C 오스템퍼링 열처리재의 조직사진에서 마르텐사이트와 베이나이트의 분율을 계산하고 경도값과 미세경도 측정으로 베이나이트의 경도값을 계산한 결과 HRC 38을 얻었고 이 값은 Fig. 4의 영역 (II)의 경도값과 거의 일치함을 알 수 있다.

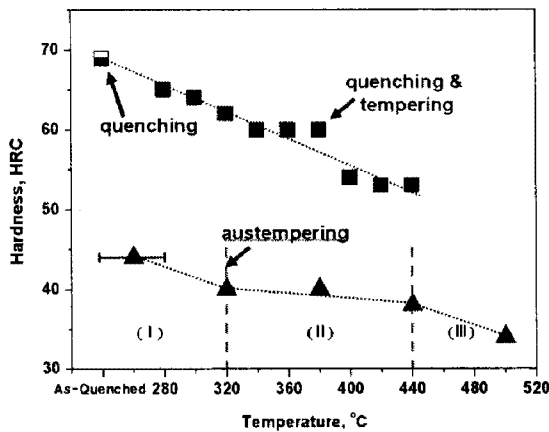


Fig. 4 Variation of hardness as a function of tempering temperature in quenched and tempered steels and isothermal transformation temperature in austempered steels.

즉, Fig. 4의 온도에 따른 경도값의 변화 경향과 Fig. 2의 조직사진으로 영역 (I)은 마르텐사이트와 베이나이트, (II)는 하부베이나이트가 대부분이며 (III)은 상부베이나이트의 양이 증가함을 유추할 수 있다.

3.3. 충격 인성

오스템퍼링의 등온변태온도와 QT의 템퍼링온도에 따른 충격인성값의 변화를 알아보기 위해 상온에서 충격시험을 실시하였으며 그 결과를 Fig.5에 나타내었다. 두 열처리 조건 모두 온도가 높아질수록 충격인성값이 증가하였으며, QT재가 오스템퍼링 재보다 빠르게 증가하였다. 또한 QT 재는 320°C까지의 템퍼링 온도 구간에서는 충격인성이 서서히 증가하였으나 그 이상의 온도에서는 빠르

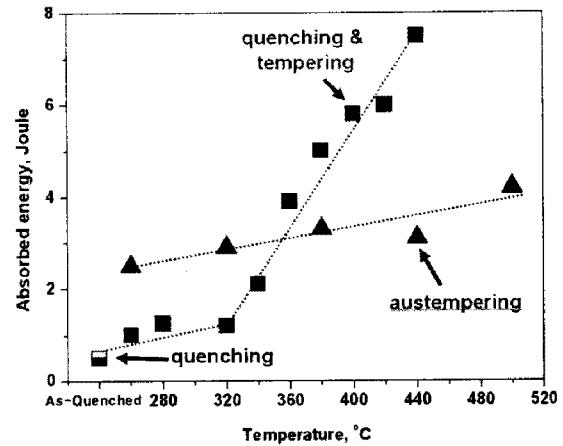


Fig. 5 Variation of absorbed energy as a function of tempering temperature in quenched and tempered steels and isothermal transformation temperature in austempered steels.

게 증가하였다. 오스템퍼링 재는 등온변태온도가 증가하면 충격인성이 일정한 기울기로 증가하였다. 충격인성의 경우도 경도와 마찬가지로 문헌에 보고된 값에 비해 상대적으로 낮은 값을 보이는데 이는 소량으로 포함된 펄라이트상에 의한 것으로 추정된다. 쿼칭 후 260~370°C 영역에서 템퍼링한 경우 인성이 감소하는 템퍼드 마르텐사이트 취성(Tempered Martensite Embrittlement, TME) [5]은 본 연구에서는 나타나지 않았다. 등온변태 온도나 템퍼링 온도 증가에 따른 충격인성 값의 증가는 시편의 파단면의 조직을 통하여 이해할 수 있다. Figs. 6과 7에 오스템퍼링과 QT 제품의 파단조직을 나타내었다. 260°C에서 등온변태시킨 강은 주로 벽개파괴(Cleavage Fracture)가 관찰되었으나 온도가 증가하면 벽개파괴와 연성파괴에서 주로 관찰되는 덤플파괴(Dimple Fracture) 양상이 혼재하는 것을 Fig. 6으로부터 알 수 있다.

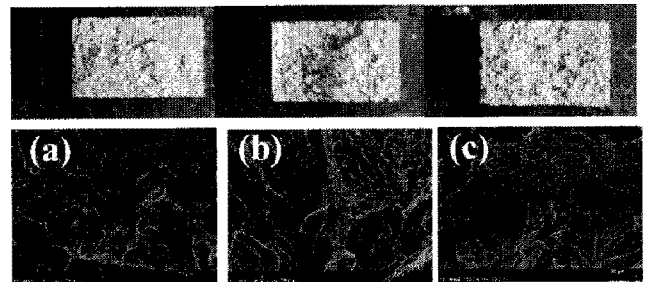


Fig. 6 SEM fractographies of austempered steels: isothermally heat-treated at (a) 260 °C, (b) 380 °C, (c) 500 °C

QT 재의 경우 낮은 템퍼링 온도에서는 파단면이 평활하지만 템퍼링온도가 증가할수록 전단립 영역(Shear Lip Zone)이 형성되었고 그 영역이 점차 넓어짐을 알 수 있다. 퀴칭한 경우 SEM 관찰을 통해 입계파괴가 지배적이고 템퍼링의 온도가 높아질수록 덤플이 형성되어 연성파괴 현상이 증가하고 있음을 알 수 있다.

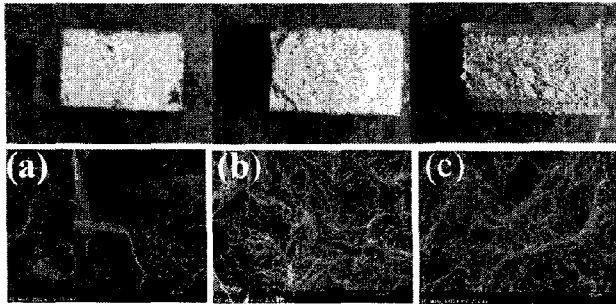


Fig. 7 SEM fractographies of quenched and tempered steels : (a) as-quenched , tempered at (b) 340°C , (c) 400°C

3.4. 고찰

본 연구에서 최종 목표로 하는 자동차용 플렉스 플레이트에 요구되는 경도는 HRC로 42-48.5이다. 그러므로, 본 연구에서 고려된 열처리 공정 중 오스탬퍼링 재는 260°C에서 등온변태한 경우, QT재는 퀴칭 후 440°C 이상에서 템퍼링 한 경우에서 각각 경도요구 범위를 만족하고 있음을 알 수 있다. 하지만, 자동차 샤시부품인 플렉스 플레이트는 높은 경도를 요구함과 동시에 엔진의 고회전에 견딜 수 있는 충분한 강성과 진동 저감을 위한 유연성이 필수적이기 때문에 충격인성 값이 적절하지 못한 경우 엔진의 회전과 동시에 파손 위험성이 존재하게 된다. 오스탬퍼링에 있어서 경도 조건을 만족하고 있는 260°C 등온변태 재의 경우에는 충격인성 값이 약 2J로써 다른 열처리 조건에 비해 상대적으로 낮음을 알 수 있다. 본 연구에서는 전체 공정 조건 중 전단립 영역이 충분히 확보되어 적절한 충격인성 값을 가지는 퀴칭 후 약 440°C 이상에서 템퍼링을 한 조건을 선택한 후 실제 핫 프레스 포밍 공정 환경조건 맞추어 400°C 템퍼링을 실시하여 시작품을 제작하였으며 그 결과 HRC 45 이상을 가지면서 충분한 인성 값을 가지는 제품을 제작할 수 있었다.

4. 결론

공구용 고탄소강인 SK5재료를 이용한 자동차용 플렉스 플레이트 제조용 핫 프레스 포밍의 열처리 조건에 대한 연구를 통해 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- (1) SK5강을 오스탬퍼링하면 HRC 34~44 범위의 경도를 가지는 베이나이트 조직이 대부분 얻어졌다.
- (2) SK5강을 60°C 오일에 퀴칭하면 HRC 70 정도의 높은 경도가 얻어졌으나 280°C~440°C에서 템퍼링하면 HRC 53~69의 경도를 가지는 템퍼드 마르텐사이트 조직을 나타내었다.
- (3) QT재는 오스탬퍼링 재보다 높은 충격인성값을 나타내었으며, 충격인성 값이 높을수록 덤플 파괴 양상이 증가하였다.
- (4) 오스탬퍼링 재는 플렉스 플레이트에 요구되는 경도를 잘 만족하였으나 인성이 부족하였다. 따라서 실제 핫 프레스 포밍 공정에 적절한 열처리인 QT이며 적절한 템퍼링온도는 400°C 이상이였다.

후기

본 연구는 21세기 프론티어연구개발사업의 일환인 '차세대소재성형기술개발사업단'의 연구비 지원으로 수행되었습니다.

참고 문헌

- [1] 방원준, 남정열, 김성주, 김형섭, "Press Hardening 공정을 이용한 자동차 경량부품개발에 관한 연구", 대한금속재료학회, 제7회 철강기술심포지엄 논문집, (2000), PP.339~353
- [2] Takehide Senuma, Kazuhisa Kusumi, and Masayoshi Suehiro, "Hot Stamping : Break-through Technology for Lightening of Automotive Bodies", *ふえらむ*, 日本鐵鋼協會, Vol.11, N0.2, (2006), PP.28~50
- [3] 강수영, 이재성, 김종하, 이호기, 이경남, "Press Hardening 공정의 자동차 부품 적용 동향", 한국소성가공학회지, 제 5 권 제 4 호, (1996), PP.263~268
- [4] 김흥기, 박성호, "Hot Press Forming 기술의 적용 및 전망", 대한금속재료학회 제 34 회 철강기술 심포지엄, (2006), PP.123~133
- [5] George Krauss, "STEELS : Heat Treatment and Processing Principles", ASM International, (1990)