

# Press Hardening공정의 자동차 부품 적용 동향

강수영 · 이재성 · 김종하 · 이호기 · 이경남

(대우자동차 기술연구소)

## 1. 서 론

최근, 환경문제가 심각하게 대두되면서 자동차의 연비향상이 주요한 과제로 부각되고 있다. 연비 향상의 방안으로는 기계 System의 효율향상과 경량화, 두가지 관점으로의 접근이 가능하다. 이 가운데 경량화는 ①기존 재료의 강도를 향상시킴으로써 두께를 감소시키거나 ②형상최적화를 통한 쓸모 없는 부분제거 또는 ③몇개의 부품을 일체화 시키는 방법, 그리고 ④보다 가벼운 재료(알루미늄, 마그네슘)로 대체하는 것등의 방법을 통해 가능하다.

자동차용 재료는 사용 목적상 적절한 강도와 성형성이 요구되며 연비의 관점에서 보면 가벼운 것이 유리하다. 최근 자동차 Styling의 곡선화 경향은 재료를 선택함에 있어서 강도뿐 아니라 성형성도 주요한 요인으로 작용하게 되었다. 일반적으로 고장력강의 경우는 성형성이 떨어지기 때문에 경량화, Styling, 강도의 서로 다른 목적을 만족시켜야 하는 어려움에 직면하게 된다. 자동차 부품에 있어서 강도는 두가지로 구분될 수 있는데 강도(Strength)와 강성(Stiffness)이 그것이다. 전자는 재료의 강도를 증가시킴에 따라 향상시킬 수 있으나 후자는 Young's Modulus에 따라 달라지는 값으로 재질이 결정되면 정해지는 값이므로 강성의 변화를 위해서는 부품의 구조의 변화(예: 해당 부품에 주름, 이중곡면 등을 만들어 줌으로써 강성을 증가시키는 방법)에 따른 변화를 이용해야 하는데 이 경우 성형성이 주요한 Factor로 작용하게 된다.

따라서 가벼우면서 강도, 강성이 동시에 요구되는 부품의 경우, 고강도 판재는 복잡한 형상의 Pressing에 필요한 성형성을 갖지 못하고 반대로 성형이 잘되는 판재는 충분한 강도를 갖지 못하기 때문에 문제가 된다. 즉 고장력 강으로 부품 제조

시 가장 큰 문제는 프레스 제조후 성형성 감소이다. 성형성 감소는 고장력 강도의 강도가 증가함에 따라 더욱 심화된다. 지금까지, 이러한 문제의 해결을 위해 어닐링조건에서 Hardenable Sheet를 성형하고 후에 열처리를 통해 강화시키는 몇가지 방법이 제안되었다. 즉, 성형시에는 강도가 낮아서 성형이 잘되고 이후 Baking 공정을 통해 제품상태에서는 필요한 강도 수준을 갖게하는 소부경화강(Bake Hardenable Steel), 성형후 시효처리를 통해 석출경화시켜 강도를 향상시키는 Cu첨가강, 그리고 B의 경화능 향상효과를 이용하는 Press Hardening공정이 그것이다.

Press Hardening공정은 Boron을 첨가하여 경화능을 향상시킨 강재를 고온으로 가열한 다음 프레스 다이에서 한번에 부품을 열간성형하면서 급속냉각하여 고강도 부품을 제조하는 것이다. 성형후 별도의 템퍼링을 실시하지 않고, 슛 블라스팅을 실시하여 고온에서 생성된 산화피막을 제거한다. 당사에서는 Boron Steel을 이용한 Press Hardening 공법을 최근에 출시한 누비라의 Bumper Impact Beam에 적용한 바 있다.

본글에서는 아직 국내에서 생소한 공법인 Press Hardening 공정과 이 공정에 적합한 재료인 Boron Steel을 소개하고 당사 및 국내의 적용동향을 소개하고자 한다.

## 2. 본 론

### 2.1 Boron Steel

1920년대부터 Boron은 극히 미량만 첨가하여도 강의 경화능을 증가시키는 것으로 알려졌으나 공업적으로 사용된 것은 2차대전후 미국에서이다.

미국에서는 군장비에 사용되는 합금강에 쓰이는 Ni, Cr, Mo등의 자원을 보존하려는 목적으로 사용되었고, 1960년대 이후 일본에서는 주로 경제적인

이유로 고강도 볼트류와 건설용 기계류에 합금강의 대체재로 Boron강이 사용되고 있다. 최근에는 봉재 이외에도 저탄소강에 Boron을 첨가하여 판재 제작후, 큰 소입성을 이용하여 자동차 부품을 제작하는데도 이용하고 있다.

강중에 Boron의 역할은 다음과 같다.

(1) 미소량의 Boron첨가로 강의 경화능을 향상시킨다. Cr, Mo등의 합금원소는 첨가량에 따라 경화능이 증가하나, Boron은 최적량(0.0005~0.003wt%)을 첨가하여야 경화능이 최대가 된다.

(2) 강의 탄소함량이 낮을수록 Boron에 의한 경화능의 효과는 커진다. 다시 말하면, 아공석강에서는 Boron이 경화능을 향상시키나, 탄소함량이 증가할수록 그 효과가 줄어서 공석강에서는 그 효과가 없어지고, 탄소가 0.8%이상인 과공석강에서는 경화능에 나쁜 영향을 준다.

(3) Boron이 Austenite에서 고용체로 존재하여야 경화능을 향상시키는 효과가 나타난다.

(4) 1100°C 이상의 고온에서 Austenizing처리하면, Boron강의 경화능은 감소한다.

(5) Boron이 첨가되면 경화능은 증가하나, Ms 온도는 영향을 받지 않는다.

### 2.1.1 경화능 향상 기구

Boron의 경화능 향상기구는 다른 원소와 근본적으로 차이가 있다. 다른 합금원소는 Ferrite, Pearlite 및 Bainite의 핵생성과 성장을 억제하여 경화능을 향상시키는 반면에 Boron은 성장속도에는 거의 영향을 주지 않고 핵생성 속도를 억제하여 경화능을 향상시킨다. Austenite의 Boron의 고용한도는 912°C에서 약 0.001%로 대단히 작고 또한, Ferrite에서는 거의 0이다. 따라서 고용한도가 작기 때문에 주로 Austenite의 입계에 편석하게 되는데, 이 편석으로 Austenite의 입계자유에너지가 줄어서 Ferrite, Pearlite 및 Bainite의 핵생성이 억제되는 것이다.

### 2.1.2 탄소함량의 영향

강에서 탄소함량이 증가하면 Boron의 효과는 감소하여 공석강에서는 그 효과가 거의 없다. 경험적으로 탄소함량에 대한 Boron의 효과를 나타내는 Boron Factor의 계산식이 연구되어졌는데, 그 중 많이 사용되는 식(Rahrer Equation)을 예로 들면 다음과 같다.

$$F_B = 1 + 1.5(0.9 - C\%)$$

$F_B$ : Boron Factor

$$F_B = D_1 \text{ with boron} / D_1 \text{ without boron}$$

( $D_1$ : Ideal Critical Diameter)

### 2.1.3 산소와 질소의 영향

Boron은 산소와 질소에 대한 친화력이 크기 때문에 강은 충분히 탈산되어야 하고 질소는 화합물로 고정되어야 한다. 왜냐하면, Boron이 산화물이나 질화물이 되면, 경화능을 향상시키는 효과가 없어지기 때문이다. 일단 화합물이 되면 변태과정에서 핵생성을 가속화하여 오히려 경화능에 나쁜 영향을 준다. 일반적으로 Boron강의 용해시에는 탈산제로 Al, 질소 고정제로 Ti을 Boron첨가전 투입한다.

### 2.1.4 열처리의 영향

Boron강은 Austenizing처리조건에 따라서 경화능이 영향을 받는데, 고온으로 가열시에는 경화능이 감소한다. 대개 950°C ~ 1050°C 사이의 Austenizing처리온도에서 boron강의 경화능은 최대치를 나타낸다. Boron강의 경화능은 주로 질소의 거동과 Boron의 첨가량에 따라 좌우되는데, 이 질화물은 열적으로 안정하여 1100°C까지는 분해되지 않는다.

### 2.1.5 보론강의 불성

국외에서는 스웨덴의 PLANNJA(BORON 02)와 일본의 NISSAN(N22CB)이 BORON STEEL을 공급하고 있으며, 국내의 경우 POSCO에서 BORON STEEL을 공급하고 있다. Table 1, 2는 대표적인 강종의 조성 및 열간성형 전후의 기계적 성질을 나타낸 것이다.

Fig. 1에 열처리 특성을 알 수 있는 CCT Diagram과 온도별 기계적 성질을 나타내었다.

## 2.2 PRESS HARDENING

이 공정은 1975년 SWEDEN PLANNJA에서 개발된 새로운 공법으로써 (Press-Hardening Method) 개략적인 공정은 Fig. 2와 같다.

①의 공정동안에 성형하기 좋은 상태인 고온(900°C 이상)으로 가열되고, ②의 공정동안에 원하는 형상으로 성형성이 좋은 상태에서 성형된다. 그리고 ③의 공정 동안에 Special Cooling에 의해 냉각된 다이에서 수초동안 프레스되면서 보론강은 경화된다. 따라서 이 기술은 부품의 형상이나 두께에

## Press Hardening공정의 자동차 부품 적용 동향

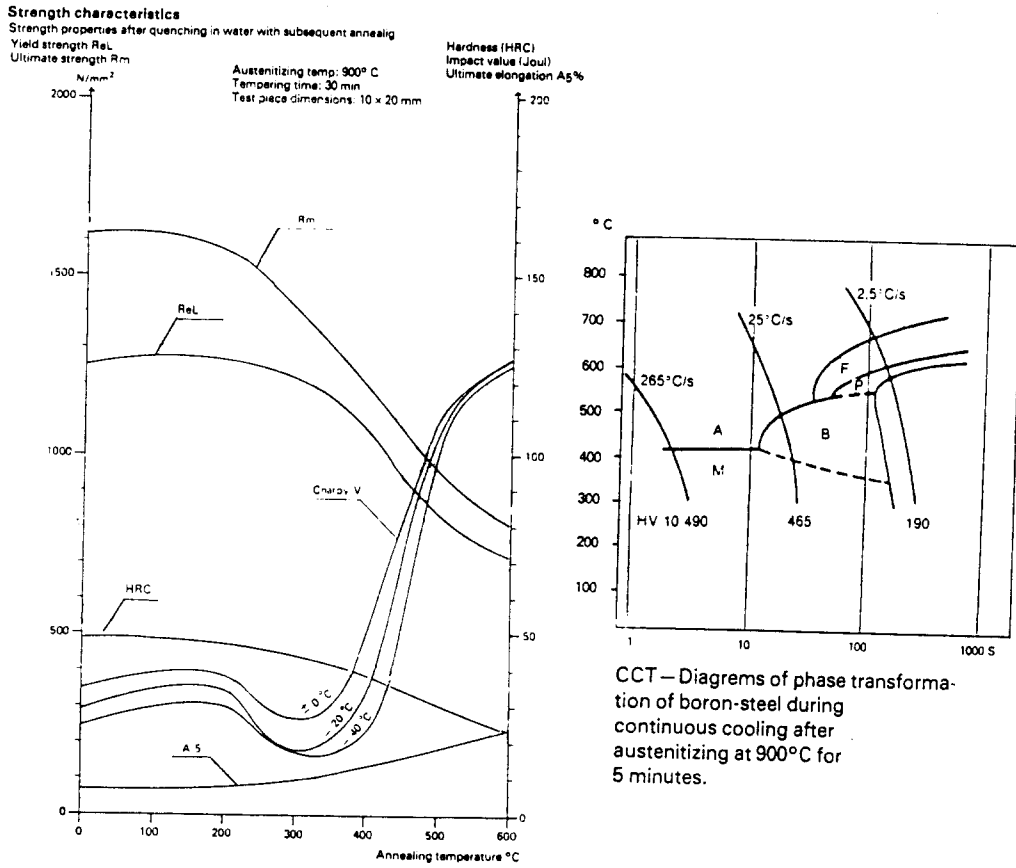


Fig. 1 보론강의 CCT와 어닐링에 따른 기계적 물성

Table 1 보론강의 조성 (Wt%)

|          | C         | Si       | Mn      | P      | S       | Cr        | B           |
|----------|-----------|----------|---------|--------|---------|-----------|-------------|
| BORON 02 | 0.2~0.25  | 0.2~0.35 | 1.0~1.3 | 0.03   | 0~0.025 | 0.15~0.25 | 0.003       |
| N22CB    | 0.2~0.25  | ≤0.25    | 0.3~0.6 | ≤0.03  | ≤0.03   | 0.2~0.4   | 0.001~0.005 |
| POSCO    | 0.18~0.22 | 0.15~0.4 | 1.0~1.5 | ≤0.025 | ≤0.01   | 0.1~0.3   | 0.001~0.003 |

Table 2 보론강 열처리 전후의 기계적 성질

| 강종       | 조건    | 항복강도 (MPa) | 인장강도 (MPa) | 신율 (%) |
|----------|-------|------------|------------|--------|
| BORON 02 | 열간성형전 | 320        | 500        | 28     |
|          | 열간성형후 | 1050       | 1480       | 9      |
| N22CB    | 열간성형전 | 277        | 437        |        |
| POSCO    | 열간성형전 | 510        | 666        | 21     |
|          | 열간성형후 | 1274       | 1715       | 9      |

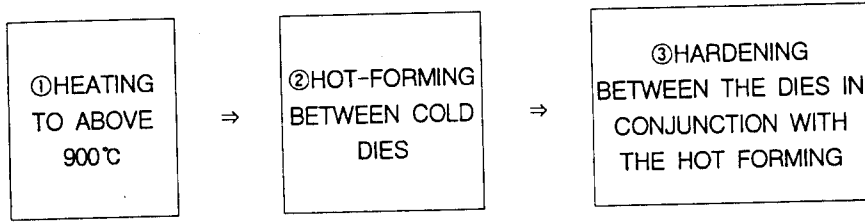


Fig. 2 PRESS HARDENING 공정의 개략도



Fig. 3 PRESS HARDENING 공정에 의해 만들어진 DOOR IMPACT BEAM

Table 3 PRESS HARDENING 공정에 따른 특성변화

| 성질    | 비고   |
|-------|--|
| 강도    | 항복강도는 1000MPa, 두께감소 가능                                 |
| 경도/인성 | 경도값 높음, 경도대비 좋은 인성, 높은 내마모성                            |
| 형상정확도 | 좋음, 스프링백 없음.   |
| 용접성   | C량이 낮기때문에 좋음.  |
| 성형성   | 성형 좋음, STRETCH-FORMABILITY 좋음, 복잡형상을 한 부품으로 성형가능(일체형). |
| 기타    | HARDENING 후 TEMPERING 필요 없음, 내구성 좋음(FATIGUE STRENGTH)  |

맞는 금형설계 및 적정 물성을 균일하게 갖도록 냉각속도를 일정하게 하는 기술이 중요하게 된다.

Press-Hardening은 보론강에 특별한 성질을 부여한다. 공정이 재질 및 부품에 미치는 효과를 정리하면 Table 3과 같다.

Fig. 3은 Press-Hardening공법을 이용하여 개발된 Door Impact Beam의 형상이다.

### 2.3 국내외 적용동향

Table 4에 자동차의 관넬두께를 지배하는 인자를 부위별로 구분하여 나타내었다. 보론강의 경우 탄성계수는 합금성분의 함수이므로 변동이 없고,

항복강도와 인장강도가 크게 향상된다. 외관이나 내관의 두께는 관넬의 탄성계수와 두께의 함수인 장강성에 의해 가장 크게 영향을 받게 되나 강관의 탄성계수의 증가가 용이하지 않기 때문에 탄성계수 증가에 의한 경량화는 어렵게 된다. 그러나 외관의 두께는 항복강도와 두께의 함수인 텐트 저항이나 내충격강도의 영향을 받고, 내관의 경우는 내충격강도 외에 인장강도의 함수인 내구강도에 의해서도 각각 영향을 받기 때문에 항복강도나 인장강도를 증가시키면 동등한 물성을 유지하면서 두께를 줄일 수 있고 결과적으로 경량화에 기여할 수 있게 된다. Table 4에서 음영부위는 보론 강관 이용시 특히

**Table 4** 자동차의 판넬두께를 지배하는 인자 (ooo:강, oo:보통, o:약, -:상관성 없음)

| 구분                         | 판두께결정요인                     |                         |                              |                               |                               | 부품예                                     |  |
|----------------------------|-----------------------------|-------------------------|------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|---|--|
|                            | 장강성<br>(Panel<br>Stiffness) | 내DENT성                  | 부재강성<br>(Member<br>Rigidity) | 내구강도<br>(Fatigue<br>Strength) | 충격강도<br>(Impact<br>Strength)  |   |  |
| 외관                         | ooo                         | oo                      | -                            | o                             | oo                            | Hood, Door,<br>Trunk Lid                |  |
| 내관                         | ooo                         | o                       | oo                           | oo                            | oo                            | Floor, Dash,<br>Hoodledge               |  |
| 내<br>관<br>구<br>조<br>부<br>재 | A                           | -                       | -                            | ooo                           | oo                            | oo                                      | Body Side<br>Member,<br>Cross<br>Member, Cowl<br>Box |
|                            | B                           | -                       | -                            | oo                            | ooo                           | oo                                      | Side Member,<br>Differential<br>Mount<br>Member      |
|                            | C                           | -                       | -                            | oo                            | oo                            | ooo                                     | Door Guard<br>Bar, Bumper,<br>Seat Belt<br>Anchor    |
| 기초식                        | $E \cdot T^m$               | $\sigma_{ys} \cdot t^2$ | $E \cdot t$                  | $\sigma_{ts}$                 | $t^2 \cdot \sigma_{ys}^{0.5}$ | m:coefficient<br>of panel<br>shape(1~3) |  |

유리한 영역이다. 그러나 외관의 경우미려한 외관 특성이 요구되므로 Press-Hardening공정 특성상 (열간성형) 적용이 어렵고 그외의 부품에는 적용이 가능하다.

국외에서는 스웨덴의 PLANNJA와 일본의 NISSAN이 프레스 경화용 BORON STEEL을 생산하고 있으며, 자동차 BUMPER IMPACT BEAM, DOOR IMPACT BEAM, BIW REINFORCING PARTS 등에 적용하고 있다. 국내 (POSCO)의 경우 Seam Tube용 보론 강은 개발되어 있으나, 프레스 경화용 Boron Steel은 개발되어 있지 않다. 당사에서는 이 공법을 이용하여 누비라 Bumper Impact Beam에 적용하였고, Door Impact Beam 등의 적용도 검토하고 있다. 아울러 프레스 경화용 Boron Steel의 국산화 개발을 POSCO와 추진중에 있고, Press-Hardening공법

또한 개발 중에 있다.

### 3. 결 론

각국에서는 배기가스 및 연비규제를 점차 강화해 나가고 있으며, 국내에서도 이같은 환경문제에 대응하기 위해서는 배기가스 저감을 위한 구체적인 대책이 시급한 실정이다. 자동차의 연비를 높이고 배기가스를 줄이는 가장 유력한 수단 가운데 하나가 경량화이며, 프레스 경화용 Boron Steel을 이용한 고강도 차체 부품을 개발하면 경량화로 인한 자동차 연비향상에 크게 기여할 수 있는 것으로 판단된다.

외국에서는 이 공법이 이미 자동차의 여러부품 (Bumper Impact Beam, Door Impact Beam, BIW REINFORCING PARTS등)에 응용되고 있으며,

다른 부품에의 적용도 가능한 것으로 판단된다.

또한 Press Hardening공정의 적용에 따른 파급 효과도 매우 커서 원소재의 국산화 개발에 따른 원가 절감 및 재료기술 향상을 꾀할 수 있으며, 국내 금형설계 및 금형 제작기술 향상에도 도움이 될 것이다.

### 참고문헌

- (1) T. Ohno et al., 1982, "Molybdenum-Saving Case Hardening Steel", SAE 820124.
- (2) 이종문 et al., 1988, "Cr첨가 저탄소 보론강의

기계적 성질에 관한 연구", J. of the Korea Inst. of Metals, Vol. 26, No. 12, pp.1190~1199.

- (3) W. T. Cook and P.T. Arthur, 1979, "Influence of boron in heat treatable steels", Heat Treatment '79, pp. 126~131.
- (4) Li Chaoxia, 1989, "A Systematic Approach to Develop and use Boron Alloy Steels in Truck Production in the second Auto Works of China", SAE 891359.
- (5) PLANNJA, NISSAN, POSCO : PRIVATE COMMUNICATION