

## 자동차용 강판의 성형성 개선에 관한 연구

김순경\* · 이승수\*\* · 전언찬\*\*\*

### A Study on the Improvement of Formability of Automobile Body Sheet

Soon - Kyung Kim\*, Seung - Soo Lee\*\*, Eon - Chan Jeon\*\*\*

#### Abstract

Development on the mechanical properties of steel sheet for the automobile body panel is very important in the BAF(Batch annealing furnace) annealing process. Because of the heat treatment method in the BAF, mechanical properties was decided on the heat treatment method of the coil. So, we tested on the development of mechanical properties according to heat treatment method at the annealing furnace using the Ax(H<sub>2</sub> 75%, N<sub>2</sub> 25%) atmospheric gas and the HNx(H<sub>2</sub> 4%, N<sub>2</sub> 96%) atmospheric gas. As a result of several investigations, We confirmed the following characteristics : mechanical properties was changed under the influence of the annealing cycle, the heat treatment method and the atmospheric gas. And, elongation in the HNx BAF was better than the Ax BAF. Finally, most important thing in the BAF is using of proper annealing cycle in order to get a good quality.

Keywords : Mechanical properties of steel sheet(강판의 기계적 성질), Cold rolled steel sheet(냉연강판), BAF(Batch annealing furnace(상 풀립 로)), Atmospheric gas(분위기 가스)

#### 1. 서 론

자동차의 차체와 가전제품은 최근 경량화와 소형화 추세에 따라 신소재의 개발과 더불어 부분적으로 비철금속이나 플라스틱과 같은 수지 계통의 재료가 대체 사용되고

있다. 특히 강판 제품 중에서도 자동차용으로 많이 사용되는 박판은 냉연강판으로 사용되는 경우와 내식성을 향상시키기 위한 도금강판이 주로 사용되고 있으며, 내·외장 재료는 도금강판이 많이 사용되고 있다. 선진국에서는 플라스틱과 같은 수지류도 차체에 많이 사용되고 있지만 국

\* 동의공업전문대학 자동차학과  
 \*\* 동아대 대학원 기계공학과  
 \*\*\* 동아대 기계공학과

내에서는 아직도 범퍼 등과 같이 특수한 부분에만 사용되고 있다. 자동차용 강판의 경우, 압연가공중에 발생된 금속 내부조직의 변형과 잔류응력을 제거하고 우수한 가공성을 부여하기 위하여 재결정온도 이상으로 가열하는 풀림처리를 통하여 재결정이 일어나게 한다. 따라서 냉연강판의 가공성을 나타내는 기계적 성질을 개선시키기 위하여 많은 연구가 다양하게 진행되고 있다.

이와 같이 냉연강판의 가공성을 향상시키기 위한 풀림처리 방법으로는 소폭종 대량생산에 적합한 연속풀림과 다폭종 소량생산에 주로 사용되는 BAF에 의한 상(箱) 풀림으로 분류된다.<sup>1-2)</sup>

상 풀림에서는 가열에 필요한 연료비용이 가장 큰 비중을 차지하고 있으므로 적절한 가열영역을 찾아 관리하는 것이 가장 중요한 부분으로 대두되고 있다. 이와 같은 것을 해결하기 위하여 최근에는 전열성과 환원성이 우수한 분위기 가스의 수소 함량을 증가시키는 방안이 실용화되고 장지도 많이 개선되었다.<sup>3-5)</sup>

따라서 본 연구에서는 최근 가장 효율적으로 사용되고 있는 Ax 분위기가스를 사용하는 H<sub>2</sub> BAF와 HN<sub>x</sub>분위기 가스를 사용하고 있는 HN<sub>x</sub> BAF에서 처리된 강판의 기계적 성질에 관하여 연구하였다. 그리고 분위기 가스의 특성과 변화에 따른 강판의 기계적 성질의 변화를 제품별, 두께별로 조사하였다.

## 2. 이론적 배경

본 실험에 사용된 HN<sub>x</sub>가스는 4%의 수소와 96%의 질소로 구성되어 있고, Ax가스는 75%의 수소와 25%의 질소로 구성되어 있다. Table 1은 분위기 가스의 주요 성분인 수소와 질소의 성질을 비교한 것으로 수소가 질소보다 7배정도 열전도성이 우수함을 알 수 있다.

Table 1 Physical properties of hydrogen and nitrogen. (at 250K).

Items	H <sub>2</sub> (a)	N <sub>2</sub> (b)	a/b
Thermal conductivity (W/m·K)	0.157	0.0222	7
Viscosity (N·s/m <sup>2</sup> )	7.89 x 10 <sup>-6</sup>	15.49 x 10 <sup>-6</sup>	1/2
Diffusion coefficient (m <sup>2</sup> /s)	81.4 x 10 <sup>-6</sup>	11.48 x 10 <sup>-6</sup>	7
Density (kg/m <sup>3</sup> )	0.097	1.348	1/14

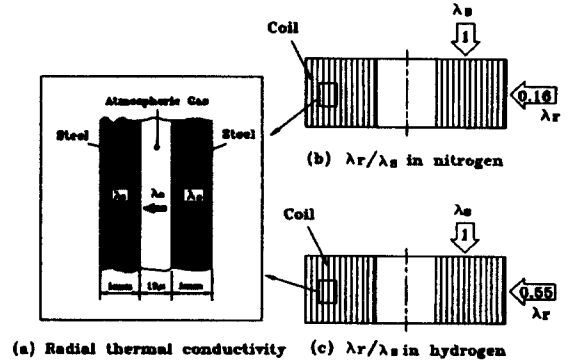


Fig. 1 Heat transfer mechanism of coil

Fig. 1은 수소와 질소 가스 속에서의 축방향과 반경방향에 대한 전열량의 비를 나타낸 것으로서, 강판과 강판사이 미세한 공간이 (a)에서와 같이 존재하므로 대류와 전도가 변갈아 가면서 발생됨을 알 수 있다. 분위기 가스의 성분에 따른 전열량은 (b)와 (c)에서 보는바와 같이 질소가스 속에서는 축방향대비 반경방향의 전열량이 16%이지만, 수소가스 속에서는 55%로 증가됨을 볼 수 있다.

$$h \cdot \frac{D}{k} = 0.023 Re^{0.8} Pr^{0.33} \quad (1)$$

$$Q = h \cdot A (T_g - T_s) \quad (2)$$

$$\eta = \frac{P_1 - P_2}{0.5 \cdot \rho \cdot V_1^2 \cdot \{1 - (A_1/A_2)^2\}} \quad (3)$$

여기서,  $Re = \frac{V \cdot D \cdot \rho}{\mu}$ ,  $Pr = \frac{C_p \cdot \mu}{k}$

A<sub>1</sub>: 디퓨저(Diffuser)의 입구면적, A<sub>2</sub>: 디퓨저의 출구면적, A: 코일의 전열면적, C<sub>p</sub>: 분위기가스의 기체상수, D: 분위기가스의 유효직경, h: 열전달계수, k: 열전도도, Pr: 프란틀(Prandtl) 수, P<sub>1</sub>: 디퓨저의 입구압력, P<sub>2</sub>: 디퓨저의 출구압력, Q: 전열량, Re: 레이놀즈(Reynolds) 수, T<sub>s</sub>: 코일의 표면온도, T<sub>g</sub>: 분위기가스의 온도, V: 분위기가스의 속도, ρ: 분위기가스의 밀도, μ: 분위기가스의 점도, η: 디퓨저의 압력효율

열전달을 나타내는 식(1)에서 열전달계수 h는 레이놀즈수와 프란틀수와 관계가 있으며 레이놀즈수는 분위기 가스의 속도와 통로의 직경에 비례함을 알 수 있다. 따라서 전열량은 분위기가스의 속도와 흐름을 조절하는 베이스 팬(Base fan)의 직경과 큰 관계가 있음을 알 수 있다. 그리고 디퓨저의 압력효율을 나타내는 식(3)은 분위기 가스의 흐름과 압력에 의하여 구해진다.

### 3. 실험 장치 및 방법

#### 3.1 실험 재료

본 실험에 사용한 냉연강관은 SAE 1006(DDQ)과 SAE 1008(CQ)이며, 그 화학적 성분은 Table 2에 나타난 바와 같고, 기계적 성질은 Table 3과 같다.

Table 2 Chemical compositions of specimen(wt.%)

Material	C	Si	Mn	Al	Cu
SAE 1008	0.050	0.009	0.250	0.010	0.010
SAE 1006	0.04	-	0.21	-	-

Table 3 Mechanical properties of specimen

Material	Tensile strength (MPa)	Hardness (H <sub>HR</sub> )	Elongation (%)
SAE1008	710	86	4.2
SAE1006	680	82	4.5

실험재료로 사용된 냉연강관은 냉간압연 가공시에 자동 두께장치와 형상제어장치를 사용하여 강관의 평탄도와 두께를 정밀하게 제어한 후 전해탈지를 한 코일이며, 규격은 냉연강관의 대표적인 두께 0.8~1.4 mm, 폭 1,219 mm 인 코일을 사용하였으며 단위중량은 22톤을 기준으로 하였다.

#### 3. 2 실험 장치

상 풀림에서의 전열과정은 복사와 대류에 의하여 인너 카바에서 코일로 열이 전달되며 코일자체에서는 Fig. 1에서와 같이 전도와 대류에 의하여 전열이 이루어진다. 대류에 의하여 약 70~80%의 열전달이 이루어지며 나머지가 복사에 의하여 전열이 되므로 대류가 매우 중요하므로 열전달은 분위기 가스의 종류에 따라 크게 변하게 된다.<sup>6,7)</sup>

풀림처리로의 구성은 Fig. 2에서 보는 바와 같고, 가열 장치인 로와 화염이 강관에 직접 닿지 못하게 차단시켜 주는 인너카바가 있으며, 이와 같은 장치의 받침대 역할과 분위기 가스의 흐름을 원활하게 해주기 위한 베이스와 팬으로 구성되어 있다. 인너카바와 코일사이에 설치된 열전대(#11 TC)로 분위기가스의 온도를 제어하며 냉각시에는 수냉에 의한 강제냉각 방법을 사용하여 냉각시간을 단축시킨다.

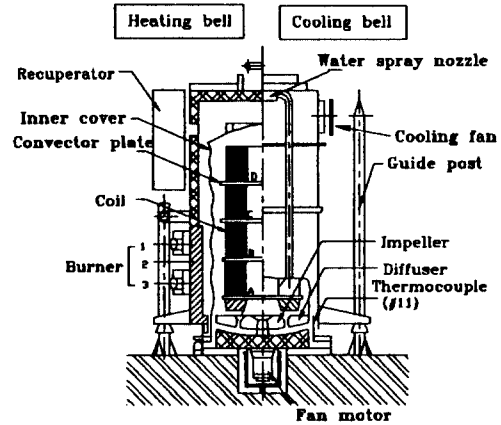


Fig. 2 Schematic diagram of annealer

#### 3. 3 실험 방법

상 풀림처리는 연속풀림처리와는 달리 코일형태로 진행 청정 공정에서 권취(Coiling)된 코일을 3~4단으로 인너카바 내부에 적입(Stock)한 후, 가열과 냉각이 이루어지므로 각 코일의 부위별 온도분포가 시간에 따라 다양한 형태로 변화되어 정확한 온도관리가 매우 어렵다. 코일의 내권부와 외권부의 온도가 일정하게 승온되고 냉각될 수 있도록 제어하는 것이 가장 이상적이지만, 상 풀림에서는 거의 불가능하므로 분위기가스의 성분을 조절하거나 유량 변화 등의 방법을 사용하여 코일의 부위별 온도 차이를 다소 보상하고 있다. 열전대 설치는 Fig. 3에서와 같이 적입 코일의 외권부와 중권부에 설치하는 것을 기준으로 하되 필요에 따라 다양하게 설치하였으며 풀림 사이클은 일반적으로 많이 사용되는 680℃(저온점 기준: #2T/C)를 기준으로 하였고, H<sub>2</sub> BAF에서는 저온점과 열전대(#11T/C)의 온도편차를 CQ는 50℃, DDQ는 30℃가 되었을 때 냉각을 실시하였다.

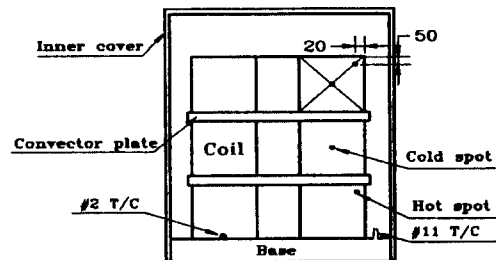


Fig. 3 Thermocouple location in the BAF

## 4. 실험 결과 및 고찰

### 4. 1 풀림 사이클 비교

상 풀림에서 가장 기본이 되는 풀림 사이클을 비교해 보면, 분위기가스가 Ax인 경우는 가열과 냉각시간이 각각 25시간 정도 소요되어 전체 사이클은 50시간 정도가 소요되었고, HN<sub>x</sub>가스에서는 138시간이 소요된다.<sup>8)</sup> 이와 같은 결과는 가열에서는 식(2)에서 보는바와 같이 수소가 질소에 비하여 열전달계수가 크고, 식(1)에서와 같이 유량이 많기 때문에 전열량이 많아져 풀림처리시간이 감소되고, 냉각에서는 공냉방식인 HN<sub>x</sub> BAF보다 수냉식인 H<sub>2</sub> BAF가 빠르게 냉각되기 때문이다.<sup>3,4)</sup>

### 4. 2 CQ 강판의 기계적 성질 비교

일반적으로 가장 많이 사용되는 CQ(Commercial Quality : SAE 1008) 강판은 평판용으로 주로 사용되므로 성형성이 크게 요구되지 않지만, DDQ(Deep Drawing Quality : SAE 1006) 강판은 대부분 심한 성형가공이 요구되는 제품에 주로 사용된다. 특히 자동차체의 부품은 대부분 이와 같은 강판에 의해 성형가공이 이루어지므로 강판의 경도, 인장강도 그리고 연신율과 같은 기계적 성질이 매우 중요하다. Fig. 4에서 n은 시편수이고, SD는 표준편차를 나타낸 것이다.

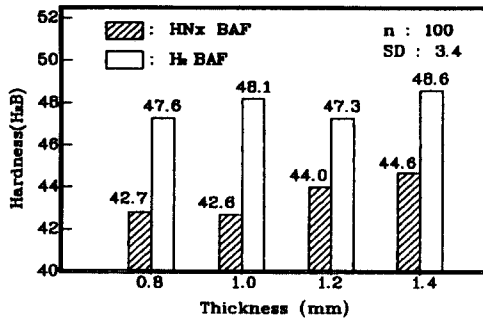


Fig. 4 Relation between thickness and hardness on the CQ

Fig. 4는 HN<sub>x</sub> BAF와 H<sub>2</sub> BAF에서 열처리한 CQ강판의 경도를 나타낸 것으로 H<sub>2</sub> BAF의 Ax가스에서 급속하게 처리된 강판의 경도가 전 두께에 걸쳐서 높게 나타났다. 이와 같은 현상은 재결정이 이루어지면서 펠레이크 형태의 조직이 형성되지 않고 충분히 결정이 성장되지

않아 미세한 조직의 형태가 잔존하기 때문이라고 판단된다.

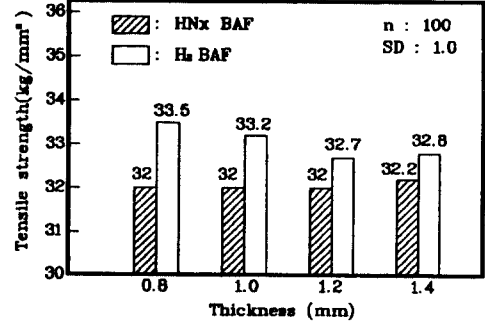


Fig. 5 Relation between thickness and tensile strength on the CQ

Fig. 5는 CQ 강판의 인장강도를 나타낸 것으로 경도와 마찬가지로 H<sub>2</sub> BAF에서 풀림처리된 CQ 강판의 인장강도가 전반적으로 높게 나타났다. 이와 같은 현상은 결정입자의 성장 억제로 인한 경도와 인장강도의 동반상승현상 때문인 것으로 판단된다. 그러나 성형성에 직접적인 영향을 미치는 연신율은 Fig. 6에서 보는바와 같이 경도나 인장강도와는 반대의 현상이 나타나 HN<sub>x</sub>분위기 가스에서 풀림처리된 강판의 성형성이 우수함을 알 수 있다. 결정입자가 충분히 성장하게 되면 연신율이 크게되어 성형가공이 용이하지만, 결정이 조대화되어 항복점 연신인 Stretcher-strain 현상이 발생할 가능성이 있으므로 적절한 결정성장의 조절이 매우 중요하다.

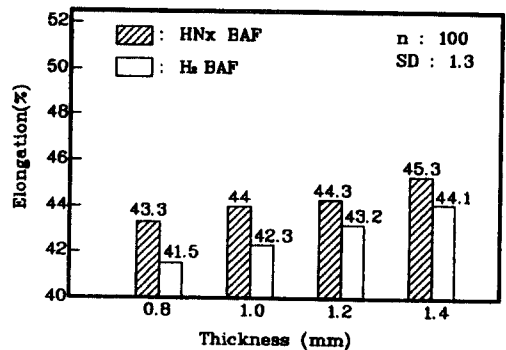


Fig. 6 Relation between thickness and elongation on the CQ

따라서 상 풀림처리에서는 무엇보다도 저온점의 변화가 가장 중요하므로 실험을 통하여 충분히 파악하여 열처리를 해야 한다. 따라서 강판의 두께와 종류에 따른 적절한 풀림 사이클의 설정이 매우 중요하다. 성형성 개선은

위하여 사이클을 지나치게 높고 길게 할 경우 결정의 조대화에 따른 품질저하는 물론 생산성이 저하되고 원가 상승의 요인이 된다.

### 4. 3 CQ강판의 기계적 성질의 분포

Fig. 7은 동일한 두께의 강판을 수차례 같은 방법으로 풀림처리하여 조사한 경도(H<sub>RB</sub>)의 분포를 나타낸 것이다. HN<sub>x</sub>가스의 경우, 경도의 분포가 39에서 43범위 내에 가장 많지만, H<sub>2</sub>가스의 경우는 47~51사이에서 주로 분포되어 있음을 볼 수 있다. 여기서  $\sigma$ 는 경도 값에 대한 편차를 나타내고,  $\bar{x}$ 는 평균치를 나타낸 것이다.

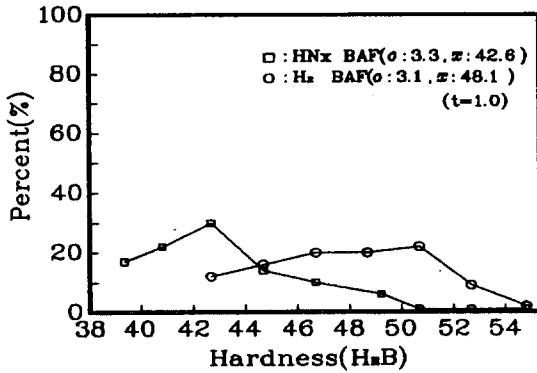


Fig. 7 Relation between thickness and hardness

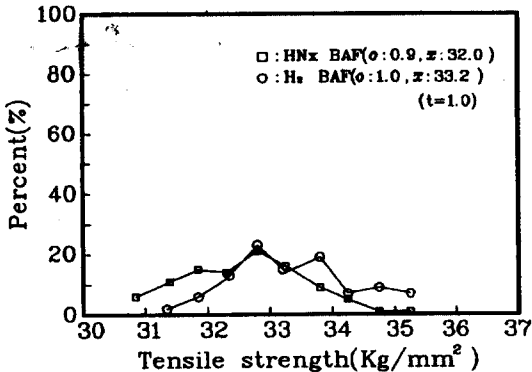


Fig. 8 Relation between thickness and tensile strength

Fig. 8은 인장강도의 분포를 나타낸 것으로 풀림 처리로의 종류에 관계없이 분포가 거의 일정함을 알 수 있다. 따라서 인장강도의 경우는 분위기 가스에 대한 변화가 거

의 없으므로 풀림 사이클의 수정이 크게 필요치 않는 것으로 판단된다. 특히 식 (2), (3)에서 보는바와 같이 온도의 차가 크고 압력차가 클수록 전열량이 많고 압력효율도 높아 대류의 효과가 높다. 그리고 Fig. 9는 연신율의 변화를 나타낸 것으로 HN<sub>x</sub>가스의 경우는 정규분포에 가깝지만 A<sub>x</sub>가스에 비하여 광범위하게 산재해 있음을 볼 수 있다. 이와 같은 변화는 코일의 폭방향에 대한 전열량이 작아 균일한 결정성장이 이루어지지 않은 것으로 생각된다. 따라서 수소성분의 함유량이 작아 확산계수가 작고 열전달율이 낮은 HN<sub>x</sub>가스는 여러가지 요인에 의하여 균일한 열전달이 이루어지지 않고 부분적으로 또는 반복시마다 불균일하게 가열되어 반복성과 연속성에서 뒤떨어지는 것으로 생각된다.

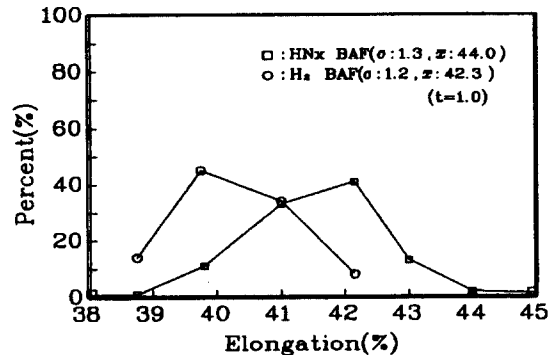


Fig. 9 Relation between thickness and elongation

### 4. 4 DDQ강판의 기계적 성질 비교

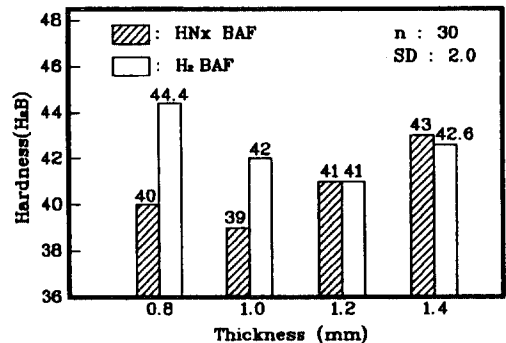


Fig. 10 Relation between thickness and hardness

DDQ(Deep Drawing Quality)강판은 주로 심가공용 강판으로 사용되므로 CQ강판보다 우수한 성형성이 요구된다.

Fig. 10은 DDQ강판의 경도를 나타낸 것으로 Ax 가스속에서 급속하게 처리된 DDQ강판은 두께가 얇은 박판에서는 HN<sub>x</sub> 가스에서 처리된 강판보다 경도가 크지만, 두께 1.2 mm에서는 동일하게 나타났다. 그러나 두께 1.4mm에서는 반대로 HN<sub>x</sub> 가스에서 풀림처리된 강판의 경도가 오히려 크게 나타났다. 이와 같은 경우, 박판에서는 Ax가스에서의 풀림처리 사이클을 높고 길게 조정하고, 1.4mm의 경우는 반대로 사이클을 수정하면 경도를 일정하게 얻을 수가 있다. 그리고 Fig. 11은 DDQ강판의 인장강도를 나타낸 것으로서 경도와 마찬가지로 H<sub>2</sub> BAF에서 풀림처리된 강판의 인장강도가 전반적으로 큰 값을 나타낸다. 이와 같은 현상이 나타나는 원인은 CQ강판과 동일한 것으로 생각된다.

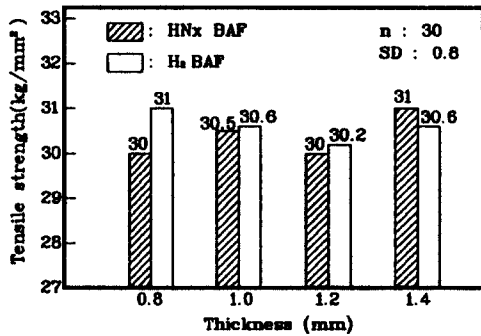


Fig. 11 Relation between thickness and tensile strength

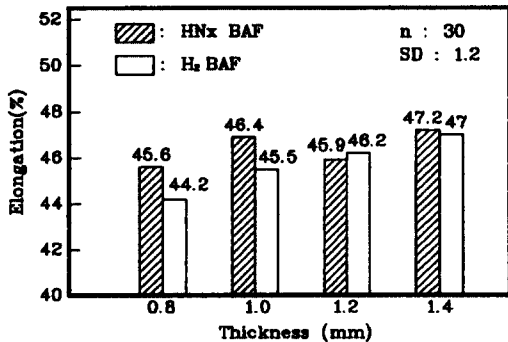


Fig. 12 Relation between thickness and elongation

Fig. 12는 성형가공에서 가장 중요한 인자인 연신율의

분포를 나타낸 것으로 전 두께에서 H<sub>2</sub> BAF에서 열처리된 DDQ 강판이 대체적으로 낮은 값을 나타내고 있으므로 연신율의 향상을 위해서는 경도에서와 마찬가지로 풀림 사이클의 조정이 필요하다고 판단된다.

#### 4. 5 DDQ 강판의 기계적 성질의 분포

Fig. 13은 1.0mm 두께의 DDQ 강판을 동일방법으로 여러 번 열처리하여 경도의 분포를 나타낸 것이다. 그림에서 보는 것과 같이 HN<sub>x</sub> BAF와 H<sub>2</sub> BAF에서의 경도 분포는 대체적으로 유사한 경향을 나타냄을 알 수 있다. 전반적으로 경도는 40~46 사이에 가장 많이 분포되어 있다.

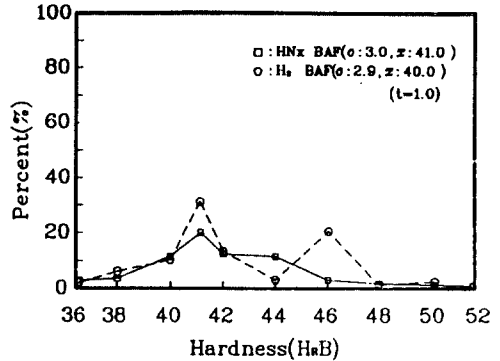


Fig. 13 Relation between thickness and hardness

Fig. 14는 인장강도의 분포를 나타낸 것으로 CQ 강판의 경우와는 다소 다른 경향을 나타내고 있다. HN<sub>x</sub>가스에서는 인장강도 31 kg/mm<sup>2</sup>를 정점으로한 정규분포의 형태를 나타내지만, Ax가스에서는 30 kg/mm<sup>2</sup>에 집중된

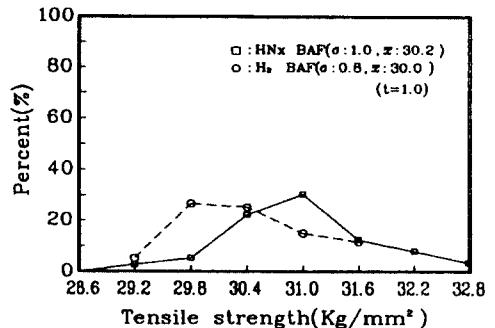


Fig. 14 Relation between thickness and tensile strength

분포를 나타내고 있다. 그러나 인장강도의 분포는 29.8kg/mm<sup>2</sup>~31.6kg/mm<sup>2</sup>에 집중되어 있음을 알 수 있다. 값의 크기는 서로 유사하나 변화의 경향이 뚜렷하기 때문에 폴림 사이클의 수정이 필요하다고 생각된다.

DDQ 강판에서 가장 중요한 연신율은 Fig. 15에서 보는 바와 같이 44.6%~47.6%에 주로 분포되어 있으며 미세한 차이는 있으나 서로 유사한 경향을 나타냄을 볼 수 있다.

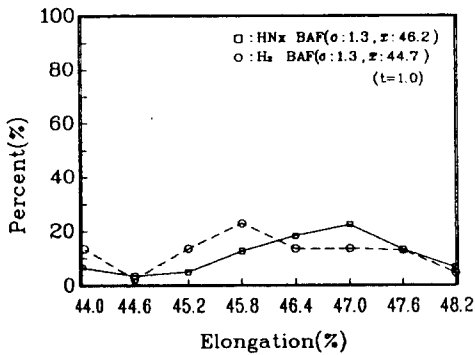


Fig. 15 Relation between thickness and elongation

## 5. 결론

상기 내용과 같이 실제 강판을 폴림처리하고 있는 상 폴림로에서 실험을 통하여 성형성에 직접적으로 영향을 미치는 기계적 성질의 변화를 비교 연구한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

폴림처리에서 HN<sub>x</sub> BAF보다 분위기 가스의 수소 함유량이 많은 H<sub>2</sub> BAF가 생산성이 우수하지만, 기계적 성질을 비교해보면 H<sub>2</sub> BAF의 경우 재결정이 완벽하게 이루어지지 않아 전반적으로 경도와 인장강도가 높고 성형가공에서 가장 중요한 연신율이 떨어지는 경향을 나타내었다.

CQ 강판의 인장강도는 로의 종류에 관계없이 대체로 유사한 경향을 나타내고 있지만, H<sub>2</sub> BAF에서는 경도가 높고 연신율이 낮아 성형성이 저하되는 문제점이 있으므로 H<sub>2</sub> BAF의 폴림에서 가열시간을 실험에서 적용한 시간보다 2시간 정도 길게 하거나 저온점과 사이클 제어용 열전대(#11 T/C)의 온도 편차를 CQ는 40℃, DDQ는 20℃로 하면 재결정이 충분히 이루어져 경도 저하와 연신율 상승에 의한 성형성이 향상될 것으로 판단된다. 따라

서 성형가공용 강판의 생산성과 경제성 측면에서는 우수한 H<sub>2</sub> BAF의 적절한 폴림 사이클의 개발이 시급하다고 판단된다.

## 후 기

이 논문은 1997년도 동아대학교 학술연구조성비(공모과제)에 의하여 연구되었음.

## 참 고 문 헌

- Mizikar, R. A., and Bresky, N.P.; Improved Quality and Productivity from Batch Annealing. American Iron and Steel Institute Regional Technical Meeting, Nov. 9, pp.125-127, 1972
- Perrin, A. R., Guthrie, R., and Stonehill, B.; The Process Technology of Batch Annealing. Iron and Steel Maker, Oct., p28, 1988
- 西野隆夫, 芝下壽夫, 宮崎英明, 齊藤康行; 100% 水素爐の設備と操業事項, 住友金屬, vol.44, pp.51-52, 1992
- Heribert L.; The HICON/H2 bell Annealer of 1989, Iron and Steel Engineer, March, p.43, 1990
- Heribert L.; Annealing Cold Rolled Strip in Hi-Con./H2 Bell Annealer, Iron and Steel Engineer, vol 4, p.46, 1988
- Rao.T.R.S, Barth.G.J, Miller.J.R ; Computer Model Prediction of Heating, Soaking and Cooling Times in Batch Coil Annealing, Iron and Steel Engineer, Semp., pp.22-31, 1983
- 宮田 濟, 小島 宏 ; Tight coil 焼鈍の傳熱解析とその應用, 製鐵研究, 第293號, p.81, 1978
- 전연찬, 김순경 ; "HN<sub>x</sub>분위기 가스 중에서 BAF 폴림 시 코일의 온도 변화에 관한 연구", 대한기계학회 논문집, 제18권, 제5호, pp. 1227-1234, 1994
- 전연찬, 김순경 ; "75%수소 BAF 폴림로에서의 온도 변화에 관한 연구", 한국정밀공학회지, 제11권, 제2호, pp. 173-181, 1994