한국공작기계기술학회 '97년도 추계학술대회 논문집 pp 101~107

자동차용 강판의 성형성 개선에 관한 연구

김 순 경* · 이 승 수** · 전 언 찬***

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 atmospheric gas and the HNx 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.

1. 서 론

자동차의 차체 및 가전제품의 경량화와 소형화 추세에 따라 신소재의 개발과 더불어 부분적으로 비철금속이나 플라스틱과 같은 수지 계통의 재료가 많이 대체 사용되고 있다. 특히 강판 제품 중에서도 자동차용으로 많이 사용되는 박판은 냉연강판으로 사용되는 경우와 내식성을 향상시키기 위한 도금 강판이 주로 사용되고 있으며, 내·외장재는 도금강판이 많이 사용되고 있다. 그러나 선진국에서는 플라스틱과 같은 수지류가 차체에 많이 사용되고 있지만 국내에서는 아직도 범퍼 등과 같이 특수한 부분에만 주로 사용되고 있다.자동차용 강판의 경우, 압연 가공중에 발생된 금속 내부조직의 변형과 잔류응력을 제거하고 우수한 가공성을 부여하기 위하여 재결정온도 이상으로 가열하는 소둔처리를 통하여 재결정이 일어나게 한다. 냉연강판의 가공성을 나타내는 기계적 성질을 개선시키기 위하여 많은 연구가 다양하게 진행되고 있다.

*. 동의공업전문대학 자동차학과
**. 동아대 대학원 기계공학과
***. 동아대 기계공학과

이와 같이 냉연 강판의 가공성을 향상시키기 위한 소둔처리 방법으로는 소품종 대량생산에 적합한 연속 소둔과 다품종 소량생산에 주로 사용되는 BAF에 의한 Batch소둔으로 분류된다.[1-2]

BAF소둔에서는 가열에 필요한 연료비용이 가장 큰 비중을 차지하고 있으므로 적절한 가열영역을 찾아내어 관리하는 것이 가장 큰 문제점으로 대두되고 있다. 이와 같은 문제점을 해결하기 위하여 최근에는 전열성과 환원성이 우수한 분위기 가스의 수소 함량을 증가시키는 방안이 실용화되고 장치도 많이 개선되었다.[3-5]

따라서 본 연구에서는 최근 가장 효율적으로 사용되고 있는 Ax 분위기가스를 사용하는 H_2 BAF와 HNx분위기 가스를 사용하고 있는 HNx BAF에서 처리된 강판의 기계적 성질에 관하여 연구하였다. 분위기 가스의 특성과 변화에 따른 강판의 기계적 성질의 변화를 제품별, 두께별로 조사하였다.

2. 이론적 배경

Table 1은 분위기 가스의 주요 성분인 수소와 질소의 성질을 비교한 것으로 수소가 질소보다 7배정도 열전도성이 우수함을 알 수 있다. 본 실험에 사

용된 Ax가스는 75%의 수소와 25%의 질소로 구성되어 있어 열전달 효율이 매우 높다.

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

Items	H_2 (a)	N_2 (b)	a/b
Thermal conductivity (W/m.K)	0.157	0.0222	7
Viscosity (N · s/m2)	7.89 x 10^{-6}	15.49 x 10^{-6}	1/2
Diffusion coefficient (m2/s)	81.4 x 10^{-6}	11.48 x 10^{-6}	7
Density (kg/m3)	0.097	1.348	1/14

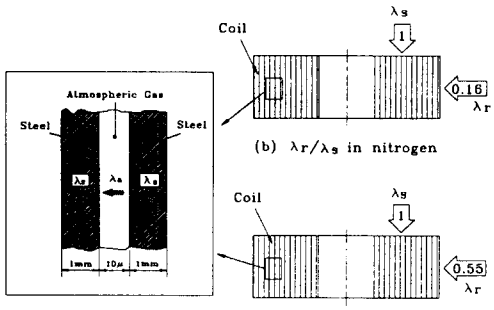

Fig. 1 Heat transfer mechanism of coil

Fig. 1은 수소와 질소 가스 속에서의 축방향과 반경방향에 대한 전열량의 비를 나타낸 것이다.

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

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

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

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

A_1 : inlet area of the diffuser, A_2: outlet area of the diffuser, A : heat transfer area of coils, C_p : specific of the gas, D: diameter of the gas flow, h: heat transfer coefficient, k: thermal conductivity of coils, Pr: Prandtle number, P_1: inlet pressure of the diffuser, P_2 : outlet pressure of the diffuser, Q : heat transfered, Re : Reynolds number, Ts : outer surface temperature of the coils, Tg: gas temperature, V: gas velocity, ρ: density of the gas, μ:viscosity of the gas, η:pressure efficiency of the diffuser

열전달을 나타내는 식(1)에서 열전달 계수 h는 Reynolds수와 Prandtle수와 관계가 있으며 Reynolds수는 분위기 가스의 속도와 통로의 직경에 비례함을 알 수 있다. 따라서 전열량은 분위기가스의 속도와 흐름을 조절하는 Base fan의 직경과 큰 관계가 있음을 알 수 있다. 그리고 Diffuser의 압력효율을 나타내는 식(3)은 분위기 가스의 흐름과 압력에 의하여 구해진다.

3. 실험 장치 및 방법

3.1 실험 재료

본 실험에 사용한 냉연강판은 SAE 1006과 1008이며, 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 (N/㎟)	Hardness (H_RB)	Elongation (%)
SAE1008	357	53.0	42
SAE1006	207	43.0	33

실험 재료로 사용된 냉연 강판은 냉간 압연 가공시에 자동 두께장치와 형상제어 장치를 사용하여 강판의 평탄도와 두께를 정밀하게 제어한 후 전해 탈지를 한 코일이며, Size는 냉연 강판의 대표적인 두께 0.8~1.4 mm, 폭 1,219 mm 인 코일을 사용하였으며 단중은 22톤을 기준으로 하였다.

3. 2 실험 장치

BAF소둔에서의 전열과정은 복사와 대류에 의하여 인너카바에서 코일로 열이 전달되며 코일자체에서는 Fig. 1에서와 같이 전도와 대류에 의하여 전열

이 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.[6-7]

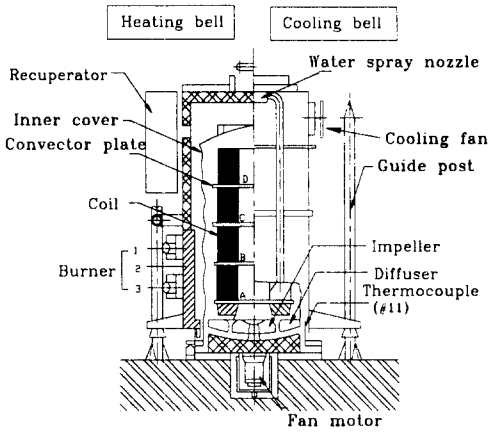

Fig. 2 Schematic diagram of annealer

소둔 처리로의 구성은 Fig. 2에서 보는 바와 같고, 가열장치인 로와 화염이 강판에 직접 닿지 못하게 차단시켜 주는 인너카바가 있으며, 이와 같은 장치의 받침대 역할과 분위기 가스의 흐름을 원활하게 해주기 위한 Base와 Fan으로 구성되어 있다. 인너카바와 코일사이에 설치된 열전대(#11 TC)로 분위기 가스의 온도를 제어하며 냉각시에는 수냉에 의한 강제냉각 방법을 사용하여 냉각시간을 단축시킨다.

3. 3 실험 방법

BAF 소둔처리는 연속 소둔처리와 달리 코일형태로 전해청정 공정에서 권취된 코일을 3-4단으로 인너카바 내부에 적입(績入)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, BAF 소둔에서는 거의 불가능하므로 분위기 가스의 성분을 조절하거나 유량 변화 등의 방법을 사용하여 코일의 부위별 온도 차이를 다소 보상하고 있다. 열전대 설치는 Fig. 3에서와 같이 적입 코일의 외권부와 중권부를 기준으로 설치하는 것을 기준으로 하되 필요에 따라 다양하게 설치하였으며 소둔 사이클은 일반적으로 많이 사용되는 680℃ (저온점 기준)를 기준으로 하였다.

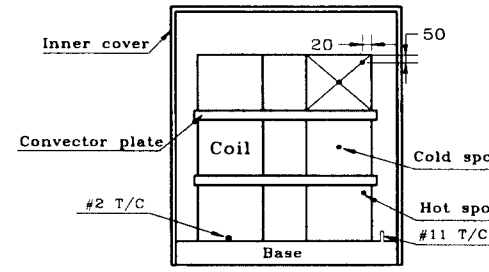

Fig. 3 Thermocouple location in the BAF

4. 실험 결과 및 고찰

4. 1 소둔 사이클 비교

냉연 강판의 소둔 시간을 조사해 본 결과, 분위기 가스가 Ax가스인 경우는 Fig. 4에서와 같이 가열과 냉각시간이 각각 25시간 정도 소요되어 전체 사이클은 50시간 정도가 소요되었다.[8]

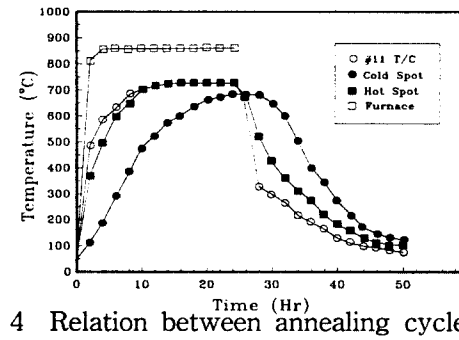

Fig. 4 Relation between annealing cycle time and temperature in the H_2 BAF.

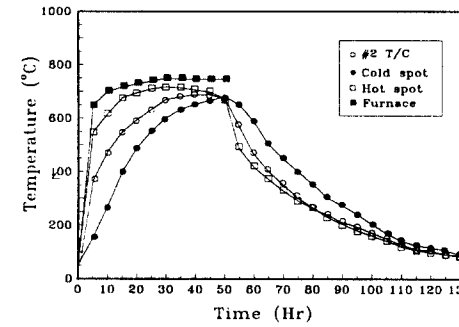

Fig. 5 Relation between annealing cycle time and temperature in the HNx BAF.

이와 같은 결과를 살펴보면 가열에서는 식(2)에서 보는바와 같이 수소가 질소에 비하여 열전달계수가 크고 식(1)에서와 같이 유량이 많기 때문에 전열량

이 많아져 소둔 처리시간이 감소되며, Fig. 5와 같이 냉각에서는 공냉방식인 HNx BAF보다 수냉식인 H_2 BAF가 빠르게 냉각되기 때문이다.[3-4)]

4. 2 CQ 강판의 기계적 성질 비교

일반적으로 가장 많이 사용되는 CQ(Commercial Quality) 강판은 평판용으로 주로 사용되므로 성형성이 크게 요구되지 않지만, DDQ(Deep Drawing Quality) 강판은 대부분 심한 성형가공이 요구되는 제품에 주로 사용된다. 특히 자동차 차체의 부품은 대부분 이와 같은 강판에 의해 성형가공이 이루어지므로 강판의 경도, 인장강도 그리고 연신율과 같은 기계적 성질이 매우 중요하다.

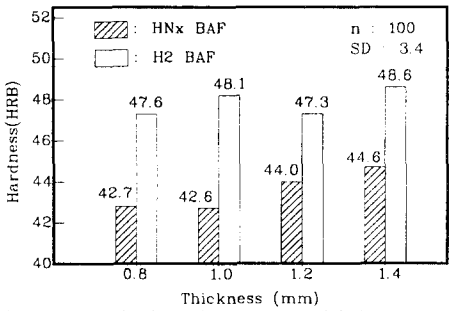

Fig. 6 Relation between thickness and hardness on the CQ

Fig. 6은 HNx BAF와 H_2 BAF에서 열처리한 CQ 강판의 경도를 나타낸 것으로 Ax 분위기 가스에서 급속하게 처리된 강판의 경도가 전 두께에 걸쳐서 높게 나타났다. 이와 같은 현상은 재결정이 이루어지면서 팬케이크 형태의 조직이 형성되지 않고 충분하게 결정이 성장되지 않아 미세한 조직의 형태가 잔존하기 때문이라고 판단된다.

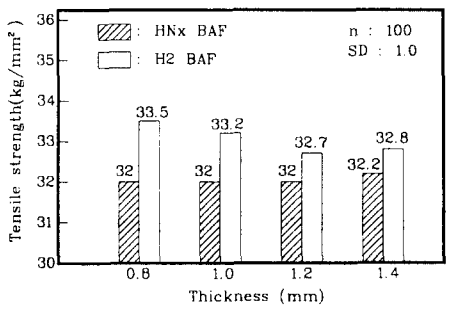

Fig. 7 Relation between thickness and tensile strength on the CQ

Fig. 7에서는 CQ 강판의 인장강도를 나타낸 것으로 여기서도 경도와 마찬가지로 H_2 BAF에서 소둔처리된 CQ 강판의 인장강도가 전반적으로 높게 나타났다. 이와 같은 현상은 결정 입자의 성장 억제로 인한 경도와 인장강도의 동반상승현상 때문인 것으로 판단된다. 그러나 성형성에 직접적인 영향을 미치는 연신율은 Fig. 8에서 보는바와 같이 경도나 인장강도와는 반대의 현상이 나타나 HNx분위기 가스에서 장점이 풀림 처리된 강판의 성형성이 우수함을 알 수 있다. 결정입자가 충분하게 성장하게되면 연신율이 크게되어 성형가공이 용이한있지만, 결정이 조대화되어 항복점 연신인 Stretcher-strain 현상이 발생될 가능성이 있으므로 적절한 결정성장의 조절이 매우 중요하다.

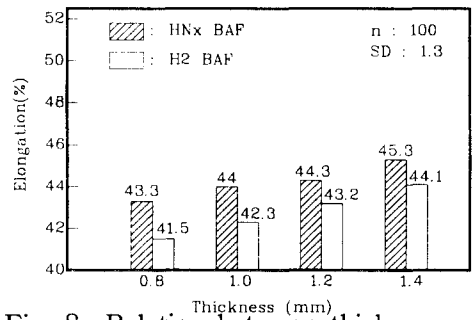

Fig. 8 Relation between thickness and elongation on the CQ

따라서 BAF 에서는 무엇보다도 저온점의 변화를 충분하게 파악하여 열처리를 할 경우 적절한 결정성장이 이루어지게 하여야 한다.

4. 3 CQ강판의 기계적 성질의 분포

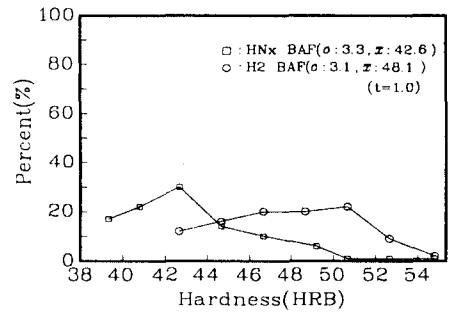

Fig. 9 Relation between thickness and hardness

Fig. 9는 동일한 두께의 강판을 수차례 같은 방법

으로 열처리하여 경도의 분포를 나타낸 것이다. HNx 의 경우는 경도(H_RB)의 분포가 39에서 43범위 내에 가장 많지만 H_2 의 경우는 47~51사이가 가장 많은 점유율을 나타낸다.

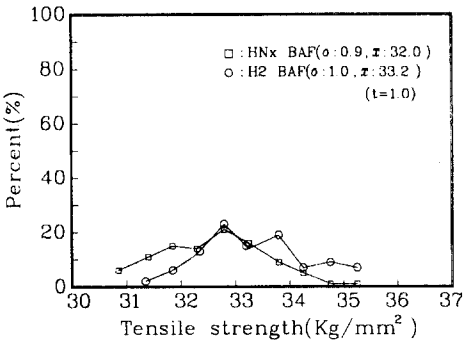

Fig. 10 Relation between thickness and tensile strength

Fig. 10에서는 Fig. 9와 마찬가지로 인장강도의 분포를 나타내었다. 여기서는 BAF의 종류에 관계없이 분포가 거의 일정함을 알 수 있다. 따라서 인장강도의 경우는 분위기 가스에 대한 변화가 거의 없으므로 소둔 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.

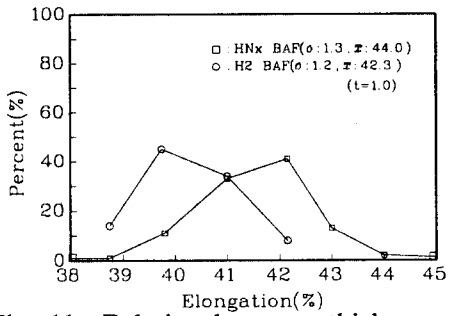

Fig. 11 Relation between thickness and elongation

Fig. 11은 연신율의 변화를 나타낸 것으로, HNx 의 경우는 정규분포에 가깝지만 Ax가스에 비하여 광범위하게 산재해 있음을 볼수 있는데 이와 같은 변화는 균일한 결정 성장이 이루어지지 않은 것으로 생각된다. 따라서 수소의 성분이 작아 확산계수가 작고 열전달율이 낮은 HNx 가스는 여러가지 요인에 의하여 균일한 열전달이 이루어지지 않고 부분적으로 또는 반복시 마다 불균일하게 가열이 되어 반복성과 연속성에서 뒤떨어지는 것으로 생각된다.

4. 4 DDQ강판의 기계적 성질 비교

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

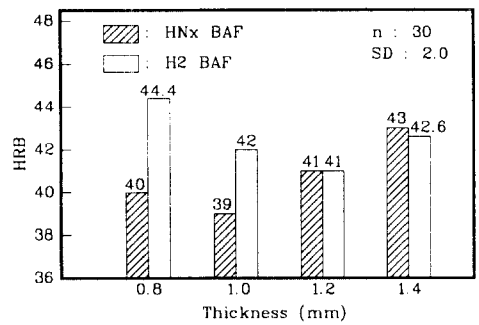

Fig. 12 Relation between thickness and hardness

Fig. 12는 DDQ강판의 경도를 나타낸 것으로 Ax 분위기 가스속에서 급속하게 처리된 DDQ 강판의 경도가 두께의 작은 강판에서는 적게 나타나지만 두께의 증가에 따라 오히려 크게 나타났다.

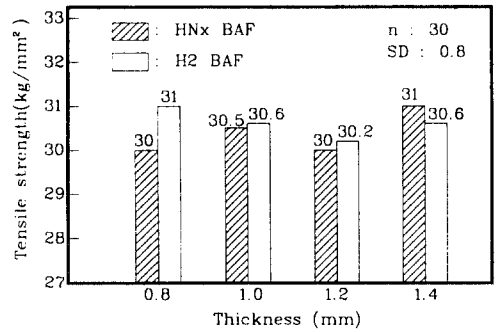

Fig. 13 Relation between thickness and tensile strength

Fig. 13에서는 DDQ강판의 인장강도를 나타낸 것으로서 경도와 마찬가지로 H_2 BAF에서 소둔 처리된 강판의 인장강도가 전반적으로 큰 값을 나타낸다. 이와 같은 현상은 CQ강판과 같은 현상으로 생각된다.

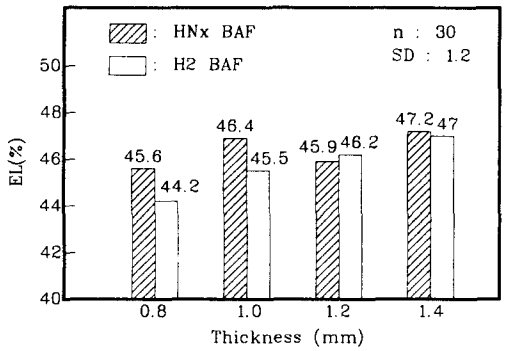

Fig. 14 Relation between thickness and elongation

Fig. 14에서는 성형가공에서 가장 중요한 파라메타인 연신율을 나타낸 것으로 전 두께에서 H_2 BAF에서 열처리한 DDQ 강판이 대체적으로 낮은 값을 나타내고 있으므로 연신율의 향상을 위해서는 소둔 사이클을 조정이 필요다고 사료된다.

4. 5 DDQ 강판의 기계적 성질의 분포

Fig. 15는 동일한 두께의 DDQ 강판을 동일방법으로 여러번 열처리하여 경도의 분포를 나타낸 것이다. 그림에서 보는 것과 같이 HNx BAF와 H_2 BAF의 경도(H_RB)의 분포는 대체적으로 유사한 경향을 나타냄을 알 수 있다. 전반적으로 경도는 40~46 사이에 가장 많이 분포되어 있다.

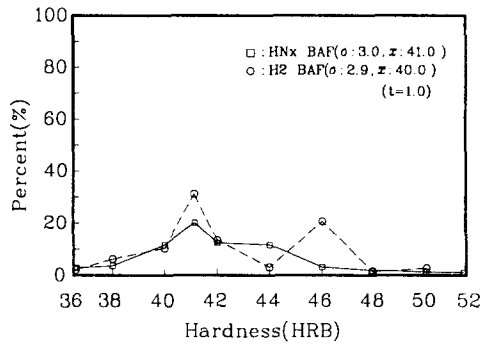

Fig. 15 Relation between thickness and hardness

Fig. 16은 Fig. 15와 마찬가지로 인장강도의 분포를 나타낸 것으로 CQ 강판의 경우와는 달리 미세하지만, 서로 상이한 분포를 나타내고 있다. 인장강도의 분포 범위는 29.8kg/mm^2~31.6kg/mm^2 내에서 변화함을 알 수 있었다. 값의 크기는 서로 유사하나 변화의 경향이 뚜렷하기 때문에 소둔 사이클의 수정이 필요하다고 생각된다.

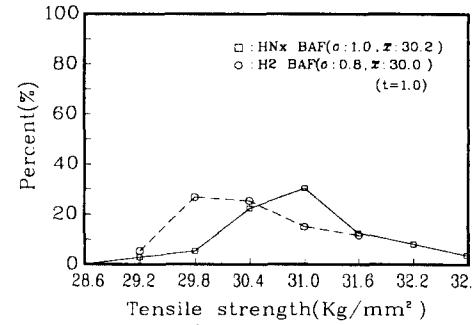

Fig. 16 Relation between thickness and tensile strength

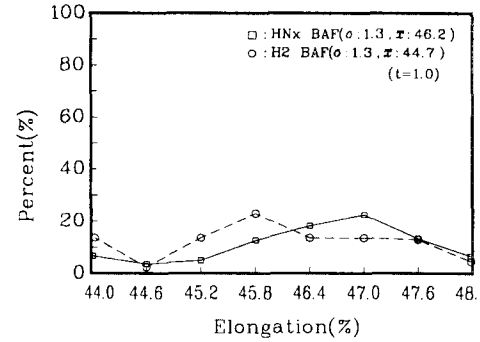

Fig. 17 Relation between thickness and elongation

Fig. 16은 Fig. 15와 마찬가지로 인장강도의 분포를 나타낸 것으로 CQ 강판의 경우와는 달리 미세하지만, 서로 상이한 분포를 나타내고 있다. 인장강도의 분포 범위는 29.8kg/mm^2~31.6kg/mm^2 내에서 변화함을 알 수 있었다. 값의 크기는 서로 유사하나 변화의 경향이 뚜렷하기 때문에 소둔 사이클의 수정이 필요하다고 생각된다.

DDQ 강판의 특징 중 가장 중요한 연신율은 Fig. 17에서 보는 바와 같이 44.6%~47.6%에 주로 분포되어 있으며 미소한 차이는 있으나 서로 유사한 경향을 나타냄을 볼 수 있다.

5. 결 론

실험을 통하여 기계적 성질의 변화를 비교 연구한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) 소둔처리에서 질소가스가 96%인 HNx BAF가 전열효율이 떨어져 분위기 가스의 75%가 수소인 H_2 BAF가 생산성 향상에 가장 효과적이다.

BAF종류별 기계적 성질을 비교해보면 H_2 BAF의 경우 재결정이 완벽하게 이루어지지 않아 전반적으로 연신율이 떨어짐을 알 수 있다.

2) CQ 강판의 인장강도 분포는 대체로 유사한 경향을 나타내지만, 경도는 Ax가 높아 성형성이 떨어진다. 연신율은 반대로 HNx가 높기 때문에 가공성이 다소 우수하다.

3) 성형용 강판인 DDQ 강판의 경우도 CQ와 거의 유사한 경향을 나타내므로, 향후 생산성과 경제성이 우수한 Ax BAF의 적절한 소둔사이클을 개발이 시급하다고 판단된다.

참 고 문 헌

1. 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

2. Perrin, A. R., Guthrie, R., and Stonehill, B.; The Process Technology of Batch Annealing, Iron and Steel Maker, Oct., p28, 1988

3. 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

4. Heribert L.; The HICON/H2 bell Annealer of 1989, Iron and Steel Engineer, March, p.43, 1990

5. Heribert L.; Annealing Cold Rolled Strip in Hi-Con./H2 Bell Annealer, Iron and Steel Engineer, vol 4, p.46, 1988

6. 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

7. 宮田 濟, 小島宏 ; Tight coil 燒鈍の傳熱解析とその應用, 製鐵研究, 第293號, p.81, 1978

8. 전언찬, 김순경 ; "HNx분위기 가스 중에서 BAF 소둔시 코일의 온도변화에 관한 연구", 대한기계학회 논문집, 제18권, 제5호, pp. 1227-1234, 1994

9. 전언찬, 김순경 ; "75%수소 BAF소둔로에서의 온도변화에 관한 연구", 한국정밀공학회지, 제11권, 제2호, pp. 173-181, 1994