

자동차용 고장력 강판의 열처리에 관한 연구

A Study on the Annealing of High Tensile Strength Steel for Automobile

박 범 식(동아대 대학원)* · 김 순 경(동의공업대) · 전 언 찬(동아대)

Bum-Shik Park* · Soon-Kyung Kim · Eon-Chan Jeon

Abstract

In recently, annealing process of cold rolled sheet tend to change to continuous annealing process for improving quality, saving yield. In the meantime as demand for various kind and small lot of products has been increasing, batch annealing has been appreciated for its small restriction for the operation. So, we tested on the effect for the proper heating temperatures, heating time of cycle, cooling time and total cycle time in this annealing process of hi tensile strength steel for automobile. As a result of several investigation. We confirmed for the following characteristics ; In this process, we knew that 680°C is suitable for this heating temp. cycle heating time of 38 Hr, cooling time of 31 Hr and total cycle time of 70 Hr. Still more, we could know that it is proper for cold rolling before annealling to be managed by 7pass because of the act on high pressure.

1. 서 론

자동차 산업의 발달과 더불어 차체를 구성하고 있는 차체용 강판의 소재도 많이 개발되고 있다. 특히 차체의 경량화에 따른 강도의 보안을 위한 고장력 강판의 개발이 선진국에서는 상당부분 개발이 완료되어¹⁾ 실용되고 있으나 국내에서는 아직도 일부 고급차종에만 적용되고 있다. 제강과 같은 소재분야는 선진국수준에 버금가는 기술확보가 되었으나 열간압연 강판을 냉간 압연 가공을 하여 열처리하는 부분에서 일정한 인장강도의 유지와 균일성에서 아직도

미흡한 부분이 많이 남아 있어 이와 같은 부분의 개발이 시급한 실정이다.

자동차는 물론 가전제품 그리고 건축 자재용으로 많이 사용되는 냉간 압연 강판은 냉간 압연 가공중에 발생된 응력을 제거하고 우수한 가공성을 부여하기 위하여 고온에서 소둔 처리를 통해 재결정이 일어나게 한다. 냉연 강판을 열처리하는 소둔 처리는 소품종 대량생산에 적합한 연속 소둔(CAL: Continuous Annealing Line)방법과 다품종 소량생산에 주로 사용되는 BAF(Batch Annealing Furnace)에 의한

Batch 소둔 방법으로 분류되며,²⁻⁴⁾ 최근에 신설되는 소둔 장치는 비철·특수강 등 다품종 소량생산 분야를 제외하면 연속 소둔장치가 주종을 이루고 있으나, 현재까지 국내에서는 BAF가 주종을 이루고 있다.¹⁾

따라서 본 연구에서는 자동차용으로 사용되고 있는 냉연강판의 제조 조건과 소둔 열처리의 조건을 정립하고자 BAF 열처리에서 소둔 사이클을 비교 검토 하였다.

2. 실험 장치 및 방법

2.1 실험 재료

본 실험에 사용한 냉간 압연 가공용 강판의 화학적 성분은 Table 1에 나타냈다.

Table 1 Chemical compositions of specimen(wt.%)

Sample	C	Mn	P	S	N	O
A	0.05	0.28	0.016	0.022	0.0016	0.068
B	0.09	0.45	0.012	0.026	0.0022	0.034
C	0.17	0.53	0.015	0.020	0.0022	0.021

Table 2 Condition of hot rolling

Sample	Finishing temp.(°C)	Coiling temp.(°C)
A	870	570
B	860	545
C	860	560

Table 2는 Table 1의 소재를 열간 압연하는 가공 조건을 나타낸 것으로 사상온도가 860~870°C이며 권취온도는 545~570°C에서 이루어진 열연 코일로서 일반적인 강판과 거의 유사한 조건이며, 강판의 두께는 대표적인 2.75mm를 주로 사용하였다. 이 강판은 냉간 압연 가공후 전해 탈지를 하여 풀림처리를

하며, 냉간 압연 후 강판의 두께는 1.0 mm이며 폭은 1,219 mm 인 코일을 사용하였다.

2.2 실험 장치

풀림처리에 사용된 로에서의 전열과정은 Fig. 1에서 보는 바와 같이 전도와 대류에 의하여 대부분 이루어지며 복사에 의한 경우는 아주 적다. 전도와 대류 중에서도 대류가 더 큰 변수를 가지고 있으므로 열전달은 분위기 가스의 종류에 따라 크게 변하게 된다. 일반적으로 BAF 풀림에서 사용되는 분위기 가스는 HN_x 가스와 수소 분위기 가스를 사용하는 로가 있다. 본 실험에서는 수소가 75%, 질소가 25%인 분위기 가스속에서 풀림처리를 실시하였다.⁵⁾

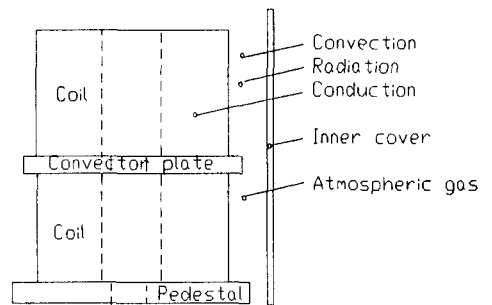


Fig. 1 Schematic diagram for mechanism of heat transfer

풀림 처리 로의 구성은 Fig. 2에서 보는 바와 같이 가열장치인 로는 방사선 방향으로 12개의 버너가 설치되어 있고 화염이 강판에 직접 닿지 못하게 차단시켜 주는 Inner cover가 있으며, 이와 같은 장치의 받침대 역할과 분위기 가스의 흐름을 원활하게 해주기 위한 Base와 Fan으로 구성되어 있다.

BAF에서 Ax나 H₂ 분위기 가스를 사용하는 경우에는 Inner Cover와 코일사이에 설치된 열전대(#11 TC)로 분위기 가스의 온도를 제어하며 냉각시에는 수냉에 의한 강제냉각 방법을 사용하여 냉각시간을 단축시키므로 생산성이 높고 균일한 가열이 가능하여 최근 많이 사용되고 있다.

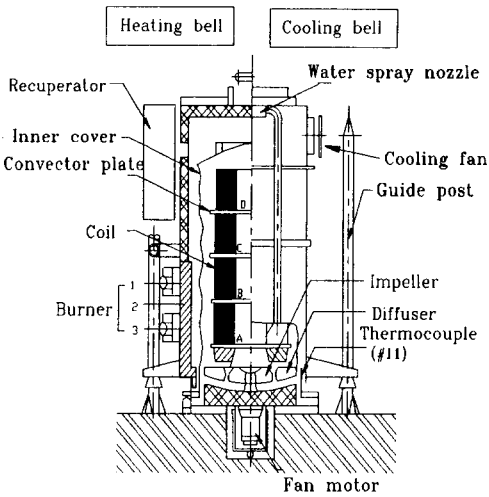


Fig. 2 Schematic diagram of annealer

2.3 실험 방법

냉연강판의 가공과정은 Fig. 3에서와 같이 6개 공정으로 구분되어 있으며, 냉연과 전해청정을 한 후 판 면을 깨끗하게 하여 풀림 처리를 하였다.

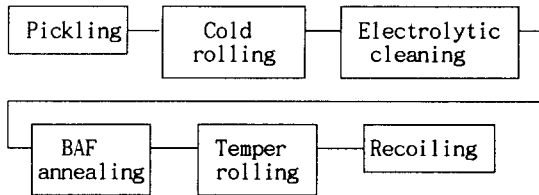


Fig. 3 Process of cold rolling

풀림처리는 일반적인 열처리와는 다르게 먼저 코일을 페데스탈 위에 적입하고 인너 커버로 덮은 후 로를 쉬워 간접 가열방법에 의하여 가열을 한다. 열전대 설치 위치는 Fig. 2에서 보는 바와 같이 하부에 설치되어 있는 #11 TC에 의해 코일의 풀림처리 사이클을 실행하였다.⁴⁻⁵⁾

풀림처리가 완료된 코일은 강판의 기계적 성질은 물론 금속의 조직 등을 비교하고 기준에 적합한 결

과가 도출될 때까지 풀림처리 사이클을 반복적으로 실시하였다. 기계적 성질과 같은 모든 실험결과는 코일의 외권부와 중권부, 그리고 내권부에서 채취한 샘플에서 구하고, 이와 같은 방법으로 코일의 적입 단별로 구해진 결과를 평균한 값을 사용하여 전반적인 사이클을 정하였다.

본 실험은 가장 일반적인 풀림방법을 사용하여 고장력 강판의 열처리 사이클을 구하기 위하여 3차에 걸쳐서 실험을 하였다.

3. 실험 결과 및 고찰

3.1 소둔 사이클 비교

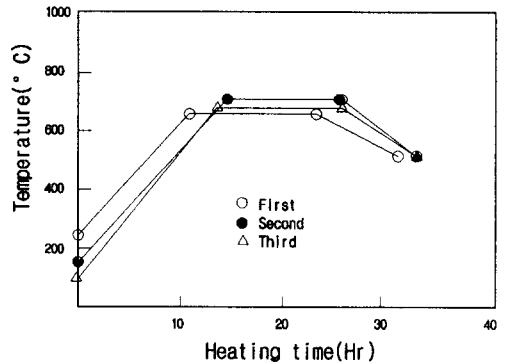


Fig. 4 Relation between annealing cycle time and temperature in the annealer

풀림 온도와 시간을 조사해 본 결과 Fig. 4에서와 같이 1차 실험의 경우는 가열시 #11 TC가 670°C까지 도달하는데 11시간이 소요되었고 균열시간을 12시간정도 유지하여 기계적 성질의 균질화 하고자 하였다. 500°C까지 냉각시키는데는 약 8시간이 소요되었고 열전달에서 가장 중요한 분위기 가스의 공급형태는 Fig. 5에서 보는바와 같이 내부 분위기 가스 치환과 배기 팬 가동 등에 도 1.5시간정도 소요되어 가열시간이 32.1시간, 냉각시간이 26.6시간이 소요되어 58.7시간이 소요되었다. 그러나 2차 실험은 1차와 동일한 방법으로 실시하되 가열시 15시간이 소요되는 690°C까지 도달하게 하였고 균열시간도 13시간으

로 하였다. 이때 전체 사이클은 가열시간이 36.8시간, 냉각시간이 27.6시간이 소요되어 64.4시간이 소요되었다. 그리고 3차 실험은 680℃를 목표로 가열하여 14시간이 소요되어 가열시간은 37.9시간, 냉각시간은 31.3시간이 소요되어 전체 사이클은 69.2시간이 소요되었다.

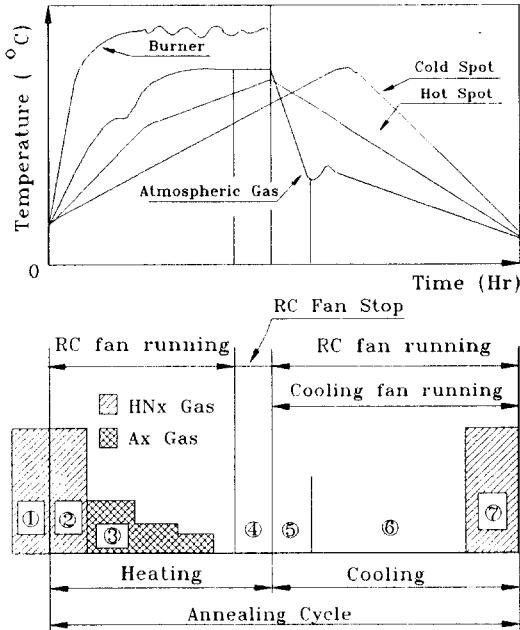


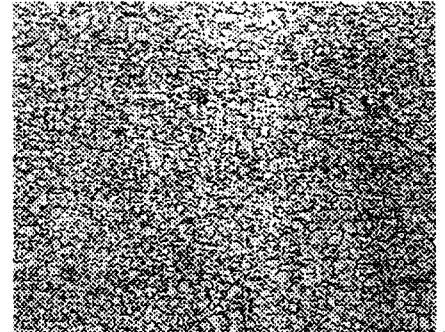
Fig. 5 Schematic diagram for annealing cycle and atmospheric gas flow rate

Fig. 5는 전술한 바와 같이 인너 커버 내부의 공기를 분위기 가스로 완전히 치환시키고 HNx가스에서 Ax가스로 점차 변환시킨 후, 균열중에는 가스 공급을 중단하고 냉각시에 다시 분위기 가스를 공급하면서 풀림치리를 완전히 종료시킨다. 풀림치리 중에 인너 커버 내에 공급되는 분위기 가스는 동일한 형태로 공급하여 온도와 시간의 변화를 조사하고 각종 물성치를 측정하여 비교하였다.

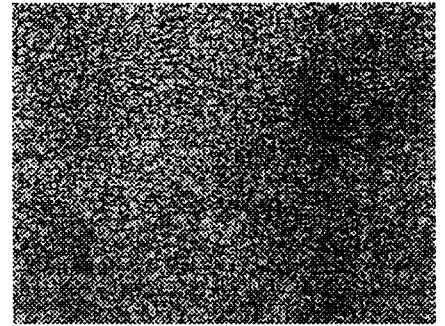
1차 열처리에서는 680℃까지 가열하여 풀림하는데 58.7시간이 소요되었고, 2차 열처리는 690℃까지 가열하는데 64.4시간이 소요되었으며, 3차에서는 670℃

까지만 가열하였지만 균열시간을 길게 하여 가공성을 개선하고자 하였다.

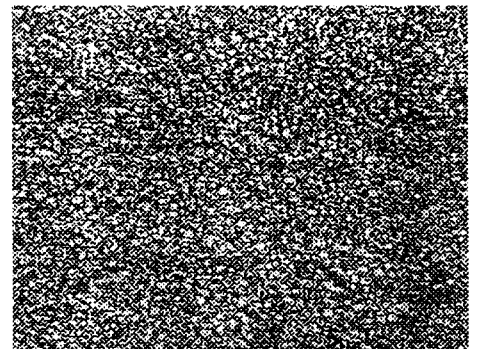
3.2 금속 조직 비교



a) Microstructure of 1st annealed strip(x200)



b) Microstructure of 2nd annealed strip(x200)



c) Microstructure of 3rd annealed strip(x200)

Fig. 6 Microstructure of annealed steel sheet on the annealing cycle time and temperature in the BAF.

전술한 사이클에 의하여 풀림 열처리한 금속의 조직은 아래 Fig. 6과 같이 서로 상이함을 알 수 있다

Fig. 6에서 1차 풀림처리한 시편의 조직은 2차와 3차 실험에서 얻어진 조직보다 조대하게 나타났다. 이와 같은 현상은 재결정 온도 이상에서 냉각시킬 때 서냉을 하므로서 결정이 지나치게 크게 성장되어진 것으로 생각되어 그 다음부터는 냉각속도를 빠르게 하였다. 냉각속도가 느리면 가공성은 향상되지만 강도나 경도가 현저하게 저하되어 고장력강으로서의 기능을 발휘하지 못하므로 강도 위주로 풀림 사이클을 설정하여 2차와 3차 실험을 하였다.

Table 3 Comparison of rolling force on the materials of specimen (M/T)

pass	1	2	3	4	5	6	7
CQ	435.4	599.5	695.2	716.5	690.2	-	-
Al-killed	409.8	633.3	798.1	785.9	800.4	-	-
HTS (35kg)	404.2	681.0	787.8	832.5	893.9	853.8	765.8
HTS (40kg)	460.5	633.4	869.2	885.8	988.4	749.1	827.5

Table 3에서 보면 일반 강이나 알루미늄 킬드강보다 고장력강의 압하력이 많이 작용하기 때문에

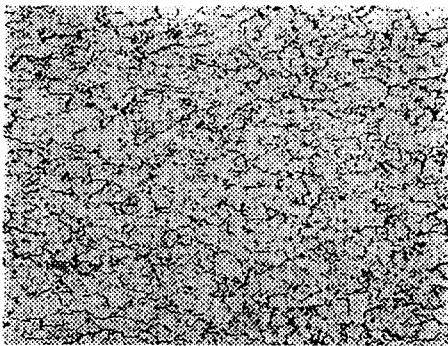


Fig. 7 Microstructure of annealed steel sheet on the SAE 1008(CQ; x200)

7pass 가공을 하였다. 이와 같은 현상은 일반강 보다 인장 강도가 60%이상 높기 때문인 것으로 생각되며, 따라서 금속 조직도 Fig. 5에서 보는 바와 같이 일반 강인 Fig. 6보다 매우 치밀하게 나타나는 것으로 판단된다.

3. 3 기계적 성질비교

Table 4는 상기 내용과 같이 열처리하고 금속조직을 비교한 시편의 기계적 성질과 가공성 등을 비교한 것이다.

Table 4 Comparison of Mechanical properties on the annealing cycle

	HRb	Er (mm)	YP (Kg/mm ²)	TS (Kg/mm ²)	EI (%)	YR (%)	r	n
	55/65	8.50 ↑	20~25	35.0 ↑	35.0 ↑	75.0 ↓	1.50 ↑	0.16 ↑
1st	61.3	9.8	27.6	38.1	37.2	72.0	1.210	0.198
2nd	60.8	10.2	27.1	37.4	36.8	72.5	1.071	0.198
3rd	69.5	10.8	31.8	41.8	33.1	76.1	0.836	0.175

기계적성질에서 경도의 경우는 55~65가 적당하므로 3가지 실험의 모든 경우가 적합하다고 생각되며, 인장강도도 35 Kg/mm² 이상이 되므로 큰 문제가 없고, 입도도와 Er값도 기준한도(KS, JIS)에 모두 적합하게 열처리가 되었으나, 항복점이 다소 높게 나타났고 가공성에 가장 큰 영향을 미치는 연신율은 3차에서 다소 미달되는 것으로 나타났으나 Er값이 충분하게 나타나기 때문에 가공성에도 문제는 없을 것으로 판단된다. 그러나 전반적으로 보면 완전하게 모든 조건을 만족시키지는 못하지만 고장력강의 특성이 인장강도를 가장 중요시하므로 연신율과 같은 가공성에 크게 문제가 없는 한 3번째와 같은 조건이 더 적합한 열처리 사이클이라고 판단된다.

1차 실험결과 인장강도가 다소 높게 나타난 것은 압하율이 높기 때문인 것으로 생각되며 풀림 열처리 온도를 다소 상향시킬 필요가 있다고 생각되며 n값

과 항복점이 높기 때문에 균열시간을 연장시켜 입자의 균질화 및 성장을 동시에 djed을 수 있도록 하여야하므로 2차 실험을 하였다. 2차 실험에서는 대체적으로 기계적 성질을 만족시켰지만 기계적 성질의 편차가 많이 발생되어 이를 방지하기 위하여 풀림처리 온도를 10℃ 정도 낮추어 3차 실험을 실시하였다. 3차 실험 결과 Er값이 높게 나타나 가공성이 매우 향상되었으며 대체적으로 기계적 성질이 양호하게 나타나 자동차용으로 사용되는 고장력 강판의 풀림처리 사이클은 670℃가 가장 안정적인 것으로 판단된다.

Table 5 Manufacturing condition of high tensile strength

Line	Pickling	Cold rolling	Annealing	Temper rolling
Condition	HC l : 70~80℃	roll force: 120% of CQ	30~50 °C/Hr soaking time: 13~15Hr	reduction rate : 0.8~1.2%

Table 5는 자동차용 고장력 강판을 제조하는 가장 대표적인 공정의 가공조건을 나타낸 것으로 이것은 풀림처리 사이클과 매우 깊은 관계가 있으므로 이와 같은 조건이 반드시 선행되어야 실험결과 같은 결과치를 얻을 수 있다. 특히 냉간 압연가공에서의 압하율과 같은 것은 금속조직의 결정에 매우 중요한 인자로 작용하며 압연의 압하력에 따른 pass수의 배분도 매우 중요하다.

4. 결 론

다품종 소량 생산에 적합한 BAF에서 자동차용 강판인 고장력 강판의 풀림 처리시 강판의 특성에 따른 가공조건을 비교 연구한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) 고장력강의 풀림 처리에서 가열온도는 680℃가 적당하고 사이클은 가열시간 38시간, 냉각시간 31사

간 정도인 전체 사이클 70시간 정도가 알맞다.

2) 풀림 처리의 전 공정인 냉간 압연 가공에서는 경도가 높아 압연 압하력이 과대하게 작용하므로 7 pass로 처리하는 것이 적당하다.

3) 자동차용 고장력 강판은 인장강도와 Er값을 동시에 향상시켜야 하므로 풀림 사이클에서 680℃x14시간이 가장 적당하다.

4) 환원성이 우수한 H₂ BAF에서 Ax가스와 HNx 가스를 사용할 경우 시간당 승온속도는 30~50℃/hr 정도가 적당하다.

5) 풀림 처리 후의 조질 압연 가공에서는 압하율을 0.8~1.2% 정도로 처리하여 강판에의 거칠기 가공과 Stretcher -strain을 방지하는 것이 가장 적당하다.

참 고 문 헌

1. Mizikar, E. A., Veitch, 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. 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
3. Perrin, A. R., Guthrie, R., and Stonehill, B.; The Process Technology of Batch Annealing, Iron and Steel Maker, Oct., p.28, 1988
4. 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
5. Heribert L.; The HICON/H2 bell Annealer of 1989, Iron and Steel Engineer, March, p.43, 1990
6. Heribert L.; Annealing Cold Rolled Strip in H₂-Con/H₂ Bell Annealer, Iron and Steel Engineer, vol 4, p.46, 1988