

75% 水素 BATCH 燒鈍爐에서의 코일温度變化에 관한 研究

전 언 찬*, 김 순 경**

A Study on Coil Temperature Variation in 75% Hydrogen Batch Annealing Furnace

Eon-Chan Jeon*, Soon-Kyung Kim**

ABSTRACT

A Cold spot temperature control system for the batch annealing furnace has been established in order to reduce energy consumption to improve productivity and stabilize the properties of products. Therefore we confirmed a relation between annealing cycle time and atmospheric gas, variation of coil cold spot temperature with time during heating and actual temperature measurements at mid-width of each coil during soaking. The results of the temperature variation effect on the batch annealing are as follows. 1) Heating time is reduced to one half with increasing atmospheric gas flow rate and changing of atmospheric gas component from HNx to Ax gas. and annealing cycle time is reduced to 2.7 times. 2) In case of short time heating, the slowest heating part is the center of B coil, in case of long time heating, the low temperature point moves from the center of coil to inside coil. And the temperature in this part is higher than other parts when cooling. When finished heating, the cold spot is located 1/3 of coil inside in case of HNx atmospheric gas. But center of coil in case of Ax atmospheric gas. 3) The outside of top coil is the highest temperature point when heating, which becomes the lowest temperature point when cooling. So, this point becomes high temperature zone at heating and low temperature zone at cooling. It has relation according to atmospheric gas component and flow rate. 4) Soaking time at batch annealing cycle determination is made a decision by the input coil width, and soaking time for quality homogenization of 1214mm width coil must be 2.5 hours longer than that of 914mm width coil for the same coil weight. 5) Annealing cycle time with Ax atmospheric gas is extended 1 hour in of slow cooling during 5 hours in order to avoid rapid cooling.

Key Words : Atmospheric gas(분위기 가스), Cold spot(저온점), Thermocouple(열전대), Gas flow rate(공급유량), Cold rolled steel sheet(냉간압연강판)

* 동아대학교 기계공학과

** 연합철강공업(주)

기호설명

A_i	: Inner cover 전열면적
A_f	: 코일 전열면적
C_p	: 가스 비열
D	: 가스의 유동직경
E_i	: Inner cover 방사율
E_f	: 코일 외권부 방사율
h	: 대류열전달계수
k	: 가스 전도성
Pr	: Prandtle 수
σ	: Stefan-Boltzmann 상수
Q	: 대류에 의한 전열량
\dot{q}	: 복사에 의한 전열량
Re	: Reynolds 수
T_g	: 분위기가스 온도
T_i	: Inner cover 온도
T_s	: 코일외권부 온도
V	: 분위기 가스 유동속도
ρ	: 가스 밀도
μ	: 가스 동점성계수

1. 서 론

냉간압연 제품의 생산공정 가운데 연료가 가장 많이 소모되는 소둔공정에서의 에너지절감, 생산성향상 및 제품의 균질화를 위하여 1970년대 초부터 유럽에서는 많은 연구가 있었다. 냉간압연장판을 열처리하는 소둔설비는 연속소둔(Continuous Annealing Line) 방법과 BAF (Batch Annealing Furnace)에 의한 방법으로 크게 분류가 되며, 최근 신설되는 소둔설비는 비철이나 특수강분야를 제외하고는 철강업계의 대부분이 연속소둔설비로 전환하고 있다. 특수한 제품을 생산하거나 다품종 소량 생산을 하는 경우는 다양한 수요자의 요구수준에 적절하게 부응할 수 있는 BAF에 의하여 주로 소둔을 하고 있다.

냉간압연 제품의 전체 생산공정중에서 소둔시에 소요되는 에너지가 전체 공정에 소모되는 에너지의 약 50% 정도를 차지하므로 연료, 전력 및 분위기가스 등 원단위(Unit Consumption) 절감이 매우 중요하다(1-4).

BAF에서 소둔 원단위를 절감하기 위해서는 가열 및

냉각시간단축이 가장 큰 과제라고 생각되지만 HNx 분위기가스 BAF에서는 기계적 성질 및 불량발생 등 여러 가지 제약조건 때문에 Convecter plate를 바꾸거나 Recuperator 설치 등을 통하여 열효율 향상과 가열시간 단축으로 기계적 성질을 균질화하여 품질을 향상시키는 물론, 사이클의 최적화로 에너지 절감을 이룩하여 원가절감을 통한 경쟁력 향상에 주력하고 있으나, 그 효과가 미흡하여 최근에는 전열성과 환원성이 우수한 수소 분위기가스를 사용하고 장입유량(flow rate)을 증가시켜 열전도율을 좋게하고 생산성을 향상시키는 물론 품질도 향상시키고 있다(5-7).

각종 연구자료에 의하면 소둔분위기 가스는 열전도율이 좋고 환원성이 우수한 수소의 함량에 따라 생산성 향상 및 판면 청정도의 개선효과가 크다는 연구결과는 많으나(7-9), 실제 BAF에서 분위기가스 성분과 유량변화가 가열시간에 미치는 영향과 냉각시 수냉에 따른 연구결과는 거의 없다.

따라서 본 연구에서는 분위기가스 성분과 유량변화가 가열시간에 미치는 영향과 소둔사이클 결정에 큰 영향을 미치는 코일의 부위별 온도변화를 확인하고, 기계적 성질의 균일성을 결정하는데 가장 중요한 적입단별 전열변화와 코일폭 변화에 따른 보정시간의 변화를 확인하여 소둔사이클 정립에 활용이 가능하도록 실제 생산중인 BAF에서 실험을 통하여 고찰하고자 한다.

2. 이론적 배경

실제 BAF에서의 가열은 로(Furnace)로부터 Inner cover로 열이 전달되고 분위기가스 대류에 의하여 코일에 열이 전달되며, 냉각시는 반대로 코일의 열이 분위기가스를 통하여 밖으로 전달되므로 전열량은 분위기가스 종류나 장입유량 및 냉각방법 등에 따라 크게 달라진다. 따라서 최근에는 소둔시간의 단축을 위하여 분위기가스 수소가 4~6%인 HNx에서 75%, 100%인 Ax 가스를 사용하여 장입유량을 많게하고 강제냉각법을 사용하는 설비가 주목을 이루는 추세이다. 가열시 열이 전달되는 형태는 복사와 대류에 의하여 열이 전달되기 때문에 복사열과 대류열의 이동법칙을 기초로 하여 열전달을 연구한 결과를 보면 가열은 주로 축대류(Axial convection)에 의해 이루어지고 나머지는 반경복사(Radial radiation)에 의하여 주로 이루어진다(10).

대류에 의한 열전달은 Base fan에 의하여 강제로

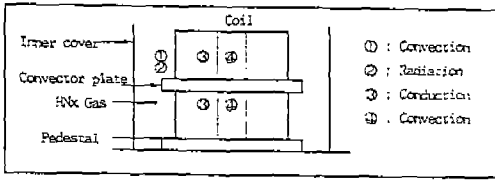


Fig.1 Schematic diagram for mechanism of heat transfer

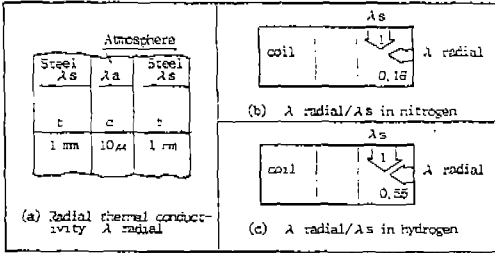


Fig.2 Calculation of radial thermal conductivity for steel coil in hydrogen and nitrogen atmosphere. (λ radial)
(b) : 5% H₂, (c) : 100% H₂)

유동되는 분위기가스에 의하여 이루어지며, Fig.1은 Inner cover로 부터 코일에 열이 전달되는 과정을 나타낸 것이다. Fig.2는 수소의 함량이 5%에서 100%로 증가될 경우 코일의 축방향과 반경방향의 열전달비를 나타낸 것이며, Table 1에서는 수소와 질소의 열전달계수를 비교하였다(11). 그리고 코일의 판표면 조도와 전해정(電解精)후 권취시 장력 및 로의 특성에 따라서도 다소 차이는 있으나 일반적으로 사용되는 대류에 의한 열전달 식은 다음과 같다(6-9).

Table 1 Physical properties of hydrogen and nitrogen. (400~600°C)

Item	H ₂ (A)	N ₂ (B)	A/B
Thermal conductivity (W/m.k)	0.168	0.024	7
Viscosity (Pa/s)	8.41×10 ⁻⁶	16.6×10 ⁻⁶	1/2
Diffusion coefficient (cm ² /s) (H ₂ -CO ₂)	0.629	0.160	4
Density (kg. s ² /m ⁴)	0.00904	0.0126	1/14
Explosion limits (%)	4.75	-	-

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

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

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

$$q = \frac{\sigma \cdot A_i \cdot \left[\left(\frac{T_i - 460}{100} \right)^4 - \frac{1}{\frac{1}{E_i} + \frac{A_i}{A_l}} \cdot \frac{\left(\frac{T_s - 460}{100} \right)^4 \right]}{\frac{1}{E_l} - 1} \cdot (T_i - T_s) \quad (3)$$

상기 (1)식에서 보면 열전달계수(h)는 Reynolds수와 Prandtl수에 관계되고 Reynolds수는 가스속도와 유동 직경에 비례함을 알 수 있다. 따라서 코일에 전달되는 전체 전열량은 가스속도를 조절하는 Base fan의 Impeller 직경과 동력에도 큰 영향을 받는다.

3. 실험장치 및 방법

1) 실험재료

본 실험에 사용한 재료는 냉간압연가공에 많이 사용되는 SAE1008(SPH-1)이며 그 화학적 성분은 Table 2와 같고, 기계적 성질은 Table 3에 나타낸 바와 같다.

Table 2 Chemical compositions of specimen (wt. %)

Material	C	Si	Mn	P	S
SAE 1008	0.05	0.009	0.25	0.010	0.010

Table 3 Mechanical properties of specimen

Material	Tensile Strength (kgf/mm ²)	Yield Strength (kgf/mm ²)	Hardness (HR ₁₅)	Elongation (%)
SAE 1008	72.00	65.80	85.90	4.20

그리고 실험재료는 Fig.3의 과정을 거쳐 냉간압연과

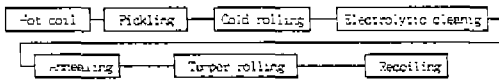


Fig.3 Flow chart of experimental procedure

전해탈지를 한 코일로서 두께는 1.0mm이며 폭은 914mm(소폭), 1219mm(대폭)인 두 종류의 코일을 적입하여 가열 및 냉각실험을 하였다.

2) 실험장치

BAF 소둔은 코일 사이에 Convector plate를 사용하여 열전달이 용이하게 하고 있으며, Base하부의 Fan으로부터 Diffuser를 통하여 공급되는 분위기가스가 Inner cover와 코일사이를 통하여 상승하다가 Fig. 4에서와 같이 Open형 Convector plate를 통하여 부분적으로 코일의 내경부로 흐르게 되고 나머지는 Inner cover 상부로부터 코일의 내경부를 통하여 Base의 배출구로 내려와 빠져나가게 된다. 이와 같은 분위기 가스의 유동 방법은 분위기가스의 종류에 관계없이 동일하나, 장입되는 유량은 큰 차가 있다.

일반적으로 BAF의 경우 코일을 3~4단으로 장입하여 소둔을 하므로 각단별로 코일의 온도가 다르다. 따라서 전체 코일의 온도를 일정하게 제어하기가 불가능하므로 최저온점(Cold spot)을 실험을 통하여 찾아내고 그 온

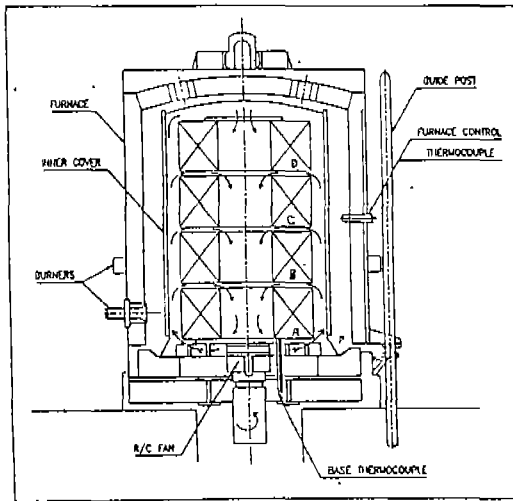


Fig.4 Schematic of single stack batch annealing furnace

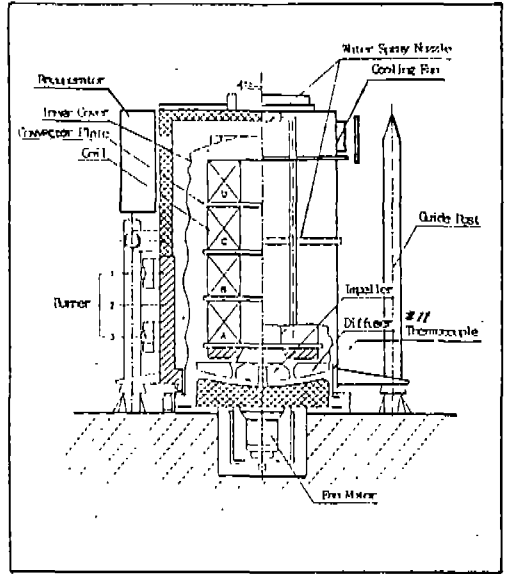


Fig.5 General assembly of hydrogen annealer

도를 기준으로 열처리 사이클을 정한다.

온도 제어용 sensor인 TC(Thermocouple)는 HNx 가스를 사용하는 로에서는 Fig. 5와 같이 설치가 용이한 Base에 설치하여 코일온도를 제어하지만, Ax가스를 사용하는 경우에는 Inner cover와 코일 사이에 위치하여 있는 TC로 분위기가스의 온도를 제어하고 있으며 분위기 가스 온도측정용인 #11 TC의 온도를 보상하여 저온점의 온도를 제어하는 것은 코일 중권부에 있는 TC를 설치할 수 없으므로 실제 사이클은 #11 TC를 기준으로 한다. 로 전체의 온도는 로에 설치된 TC에 의하여 제어한다.

HNx가스를 사용하는 경우는 유량이 10 m²/h 이내이므로 대류에 의한 열전달이 미흡하여 사이클당 소요시간이 길지만, Ax가스를 사용하는 경우 분위기가스 열전달율이 좋은 수소의 함량과 장입유량이 많아 열처리 시간이 짧다.

본 실험장치는 분위기가스의 생산을 암모니아 분해장치를 이용하여 제조하였으며 성분은 75% 수소와 25% 질소로 구성되어 있다.

3) 실험 방법

BAF 소둔시 분위기가스의 성분 및 장입유량에 따라 로내 가스의 치환속도 및 가열중 강판 표면의 변화와 가열 및 냉각시간도 변하게 되므로 Fig. 6과 같이 분위

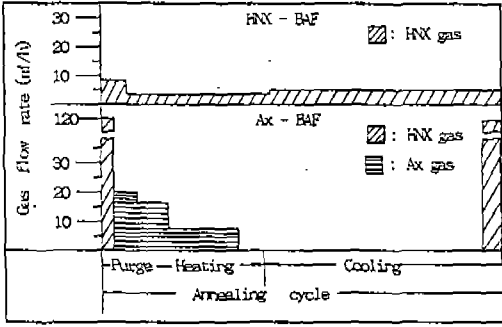


Fig. 6 Schematic diagram for flow rate of atmospheric gas in the Ax-BAF and HNx-BAF

기가스를 HNx가스와 Ax가스를 사용했을 때 가열 및 냉각시간을 비교하고, Ax가스 온도와 저온점의 관계를 확인하였다. 그리고 코일의 폭변화에 따른 보정시간 (Soaking time)의 차이를 확인하여 요구되는 강판의 기계적 성질에 알맞는 온도로 열처리하여 제조비용을 절감코져 하였다.

코일의 온도를 측정할 경우 TC설치 위치의 선정이 매우 중요하므로 본 실험에서는 가열시 저온점을 기준으로 TC를 3군데 설치하였다.

TC의 설치위치는 Fig. 7과 같으며 코일의 저온점과 내, 외권부 온도를 직접단별로 가열과 냉각시의 온도변화를 조사하였다. 가열시는 저온점이 가장 중요하고, 냉각시는 고온점이 강판에 여러가지 영향을 미치므로 이 두점의 온도가 변화하는 과정을 조사하였다.

냉각시 수냉을 할 경우 코일 외권부의 급격한 수축으로 중권부와 외권부 사이에 큰 압력이 작용하여 압력을 많이 받는 부분에 응착(Sticking)현상이 발생하므로 급냉시와 서냉시의 저온점이 변하는 상태를 확인하고 전체 소둔 사이클에 미치는 영향을 조사하여 제품의 불량을 방지하고 생산성 향상방안을 조사하였다.

5. 실험결과 및 고찰

1) 분위기가스 따른 전열변화

HNx 분위기를 사용하는 경우는 소둔 열처리 소요시간을 조사해 본 결과 Fig. 8에서 보는 바와 같이 가열시 저온점이 680°C까지 도달하는데 48시간 정도 소요되었고 80°C까지 냉종을 할 경우 약 135시간 정도가

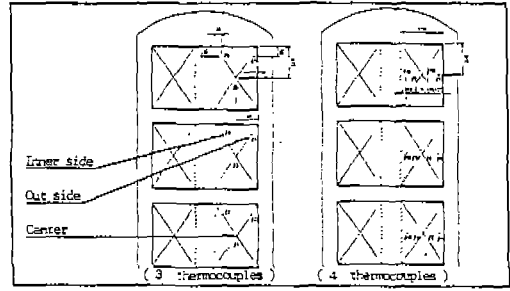


Fig. 7 The thermocouple location diagram of each coil

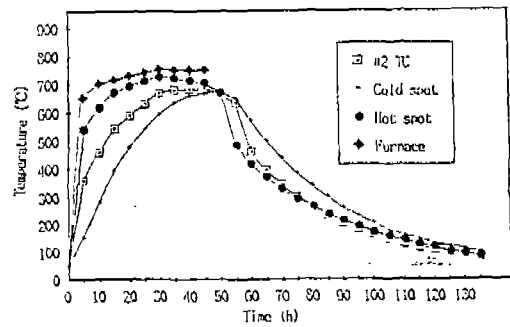


Fig. 8 Relation between annealing cycle time and temperature in the HNx-BAF.

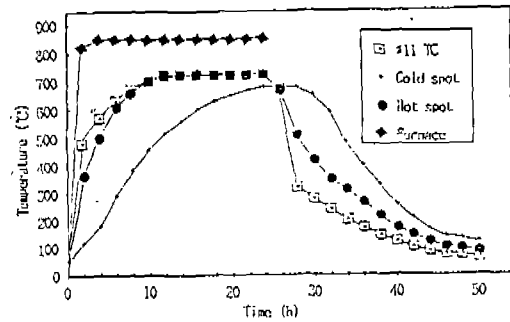


Fig. 9 Relation between annealing cycle time and temperature in the Ax-BAF.

소요되었다. 그러나 Ax 분위기를 사용할 경우는 Fig. 9에서와 같이 동일 조건에서 소둔 열처리를 하는데 소요되는 시간을 비교해 보면 가열시간은 1/2인 24시간 정도가 소요되었고 냉각시간을 포함한 소둔시간은 50시간 정도 소요되어 전체 소둔시간을 비교하면 2.7배 정도 차이가 있다.

식 (1), (2)에서 전열량은 열전달계수에 비례하며 열전달계수 및 단면적이 일정할 경우는 공급유량에 비례함을 알 수 있듯이 Ax가스의 경우는 Table 1에서 보는 바와 같이 열전달계수도 HNx가스에 비하여 7배정도 높고 장입유량도 많아서 가열시간이 단축되며 냉각시는 Inner cover의 수냉에 의하여 급속히 냉각됨을 알 수 있다.

2) 코일의 부위별 온도변화

Fig. 10은 TC를 코일의 반경방향을 기준으로 하여 외권부(Out side of coil), 내권부(Inner side of coil)와 중권부(Center of coil)에 설치하여 가열 시간별로 A, B, C단의 부위별 온도변화와 분포를 조사하여 나타난 것으로, 일반적으로 저온점은 코일 반경방향에서 보면 내권부에서 1/3되는 점으로 알고 있지만(12-13),

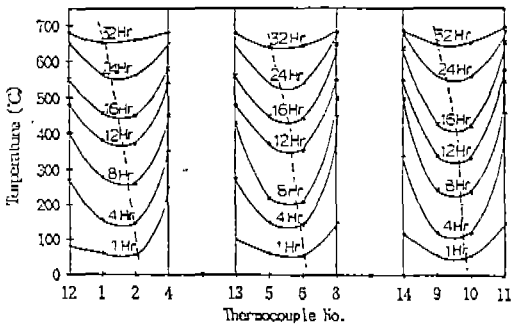


Fig. 10 Actual temperature measurements at mid width of each coil during heating (Center line : Variation of cold spot temperature, HNx gas).

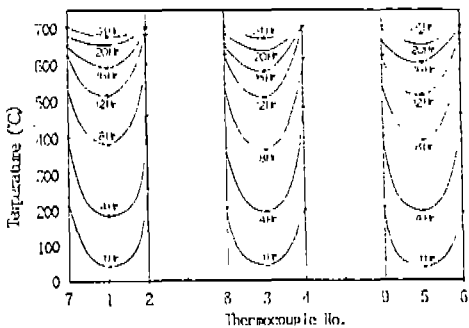


Fig. 11 Actual temperature measurements at mid width of each coil during heating (Ax gas).

실험결과 가열초기에는 Fig. 11에서 보는 바와 같이 최저온점이 가열초기에는 중권부에서 외권부쪽으로 약간 치우친 상태에서 시작하여 가열 24시간이 지나면서 중권부로 이동한후 점차 내권부쪽으로 이동함을 알 수 있다.

본 실험의 경우는 가열시간이 24시간이므로 저온점이 코일 중권부에 위치하고 있기 때문에 저온점을 중권부라고 가정한 Fig. 12에서는 코일의 중앙에 TC를 설치하여 승온속도를 확인하고 B단 중앙부위의 온도를 소둔 제어용 기준온도로 하여 실험을 하였다(14-16).

승온시의 온도는 B단의 외권부 온도가 가장 빠르게 승온되며 A단, C단 순으로 시작하여 15시간이 지나면서 A, C단의 외권부 온도는 거의 유사하게 되고 20시간이 지나면서 A, B, C단의 외권부 온도는 모두가 최고 온도에 달하게 되지만 중권부의 온도는 초기 5시간까지는 외권부의 온도와 차이가 크게 벌어지다가 15시간 이후부터는 급속히 좁혀져 보정에 들어가게 된다. 보정에 들어가면 분위기가스의 최고 온도는 일정하게 유지되지만 코일 중권부의 온도는 내권부와 외권부로부터 계속 열량이 전달되어 승온을 계속하게 된다. 이때 전달되는 열량은 Fig. 2에서 보는바와 같이 분위기가스의 경우는 거의가 축대류에 의해서 열전달이 이루어지고 반경방향의 열전달은 12~16% 정도로 작지만(6), 분위기가스가 Ax가스인 경우 분위기가스 자체의 특성에 의하여 반경방향의 열전달이 축방향의 열전달량의 50% 정도가(11) 되므로 전체적인 승온 속도가 빠르게 된다.

냉각시에는 Fig. 12에서와 같이 중권부의 온도가 일정한 비율로 떨어지다가 15시간을 지나면서 300°C 이하로 온도가 떨어져 내권부와 외권부의 온도차가 줄어들어서 냉을 하게된다. (2) 식에서 보는바와 같이 전열면적과

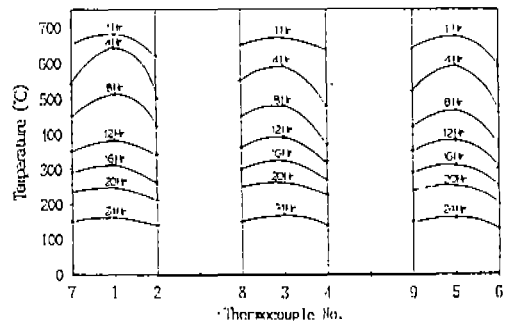


Fig. 12 Actual temperature measurements at mid width of each coil during cooling

분위기가스가 같은 경우 내권부, 외권부와 중권부 간의 온도차가 클수록 전열량이 많아지다가 20시간 이후부터는 코일전체의 냉각속도가 유사하게 되었다. 그러므로 냉각시는 가열시 저온점이었던 B단의 중권부가 고온점으로 남게되어 이점을 제어온도의 기준으로 삼는다. 이와 같은 현상은 A, B, C단 전체를 한덩어리로 볼때 가열시는 외부로부터 가열이 되지만 코일의 내권부와 외권부 주위를 흐르는 분위기가스의 유량과 유속 등 열전달 조건이 다소 다르기 때문에 최저온점은 시간에 따라 변한다. 냉각시도 가열시와 마찬가지로 외부에서 부터 냉각되므로 중심부가 가장 늦게 냉각된다.

3) 코일의 단별 온도 분포

Fig. 11은 코일의 반경방향으로 TC를 4군데 설치하여 A, B, C단 중 최저온점이 어디인가를 확인한 것이며, Fig. 13은 저온점이 중권부라고 하였을 때 단별로 저온점이 어떻게 변하는가를 확인한 것으로서 Inner cover 내부에 3단으로 적재된 코일의 부위별 전열 경향을 나타낸 것이다.

가열 시작후 4시간까지는 Burner와 가장 가까운 B단 코일의 외권부 승온속도가 빠르며, 중권부는 C단의 승온속도가 A, B단에 비해 빠르게 나타난다. 그 이후부터는 상단 코일인 C단 코일 외권부의 승온속도가 가장 빠름을 알 수 있다. 이것은 새롭게 공급되는 분위기가스가 처음 닿는 A단 보다는 가스가 고온상태인 Inner cover상부의 온도가 높기 때문이다. 코일 내권부 온도는 C단이 가장 높고, A단 내권부는 가열 개시후 24시간까지는 가장 낮은 상태이지만, 그 이후부터는 C단과 거의 유사하며, 그리고 전열속도가 가장 늦은 내권부의

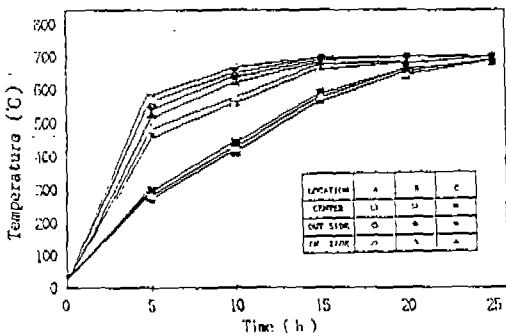


Fig. 13 Variation in coil temperature with time during heating.

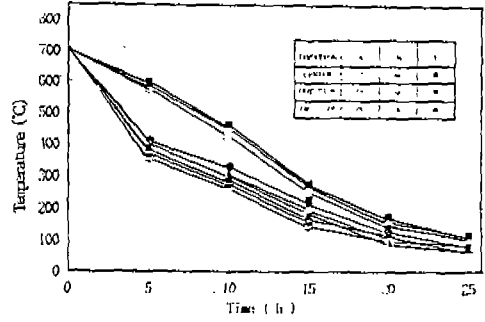


Fig. 14 Variation in coil temperature with time during cooling

승온속도는 B단이 가장 느림을 알 수 있다. C단 외권부의 경우에는 15시간 이후부터는 700°C를 유지하지만 B단 중권부는 24시간이 지나야 680°C 정도까지 가열된다. 따라서, 소둔사이클 결정은 가장 중요한 부분이라 볼 수 있는 B단의 중권부가 재결정온도에 도달한 후 재결정이 완전히 이루어지는 시간을 기준으로 한다. 특히 중권부의 온도는 매 코일마다 직접적으로 확인할 수가 없기 때문에 실험을 통하여 얻어진 수치를 기준으로 Inner cover와 코일사이에 설치된 #11 TC온도와 차이를 추정하여 재결정이 일어나는 온도와 이 온도에서 보정해야 할 시간을 결정하여 실제 소둔 열처리를 한다.

BAF 소둔시 가열보다 긴 시간을 필요로 하는 냉각 과정이 생산성에 있어 큰 비중을 차지하게 되므로 냉각 시간을 단축시키기 위하여 Inner cover 외부를 수냉시키는 방법을(3) 적용한 결과 냉각시의 코일단별 냉각시간과 온도분포는 Fig. 14에서와 같이 나타났으며, 식 (2)에서 Ax가스를 사용하면 A, B, C단의 중권부는 전열계수가 크기 때문에 전열량이 증가하게 되고, 코일의 온도와 분위기가스의 온도차가 클수록 전열량이 증가하여 냉각시간이 단축됨을 볼 수 있다. 따라서 냉각수의 온도를 낮게 할수록 생산성이 증가하므로 냉각수의 온도를 낮게하기 위하여 냉각탑을 사용하였다.

Fig. 14에서 보면 가열이 끝난 후 약 1시간까지는 C단의 외권부로부터 온도가 급격히 떨어지고, 중권부와 내, 외권부의 온도차가 크게 되며 4시간까지는 B, C단이 A단에 비하여 급속하게 냉각이 된다.

강제냉각에 의한 냉각시는 Inner cover위에 물을 뿌려서 분위기가스의 온도를 급속히 떨어뜨려 코일 내부의

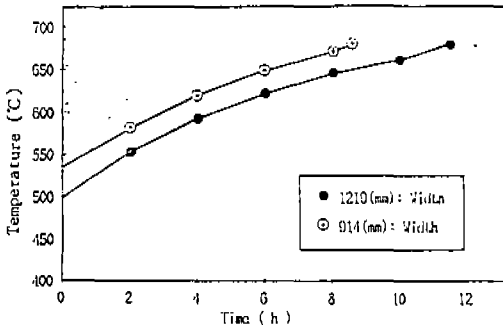


Fig. 15 Variation of cold spot temperature with time during soaking.

열이 외권부로 이동되게 하는 것이므로 C단의 온도가 가장 빠르게 떨어지며 A단의 온도가 가장 늦게 떨어진다. A단의 경우는 4시간이 지나면서 급격히 떨어지고 B, C단은 거의 일정하게 떨어지지만 12시간 이후부터는 A, B, C단 모두가 거의 유사한 율로 냉각이 이루어진다.

4) 코일폭 변화에 따른 보정시간의 변화

냉간압연제품의 폭이 다양하게 생산되지만 대표적인 폭은 914mm와 1219mm이다.

Fig. 15는 #11 TC가 지정된 값에 도착한 후부터 균열과정인 보정시간중의 변화를 나타냈다. 저온점의 온도 변화를 나타낸 값으로서 이때 분위기 가스의 값은 700°C를 유지하고 있으며, 고온점의 온도는 폭 구분없이 거의 일정하게 상승되어 폭의 영향을 받지 않지만 저온점은 소폭의 경우 대폭보다 빠른 속도로 온도가 상승됨을 알 수 있으며, 그 이유는 축방향의 길이가 짧기 때문이다. 폭·구분없이 저온점의 승온구배는 일정하게 유지되며 이는 중권부 승온비가 일정함을 나타낸다. Fig. 16은 가열완료 후 급냉시킬때와 서냉후 급냉하는 경우 저온점의 온도변화를 나타낸 것으로 본 실험에서와 같이 급냉시작 2.5시간 전에 서냉을 실시하면 저온점은 급냉시작보다 1시간후에 680°C에 도달하게 되어 6시간동안 680°C 이상에서 유지된다. 따라서 전체 열처리 시간을 계산하면 약 1시간정도 더 소유되는 것을 볼 수 있다.

가열이 완료된 후 코일 중권부의 온도가 내, 외권부의 온도에 근접($\Delta T = 30^\circ C$)하였을 때까지 균열을 시키는 보정과정에서 소폭의 경우 약 9시간 정도면 보정이 완료되지만, 대폭의 경우 보정완료되기까지는 11.5시간

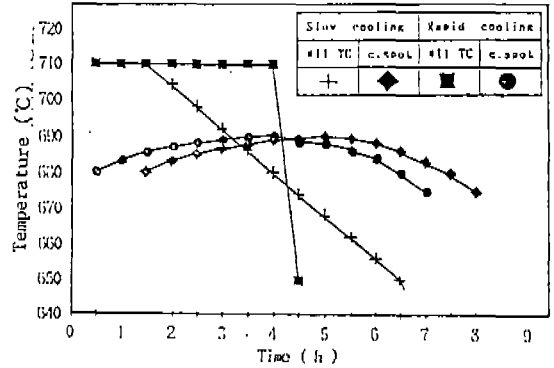


Fig. 16 Relationship for variation of cold spot temperature with time and cooling method.

정도 소요되어 2.5시간이 더 소요되었다. 이는 축방향 대류에 의한 열전달이 반경방향보다 영향이 큼을 나타내는 것이므로 보정시간 결정시는 제품의 균질화를 위해 제품의 두께보다는 폭에 따라 결정해야 한다(13).

6. 결 론

냉간압연 강관의 소둔열처리시 분위기 가스의 성분과 유량변화가 가열 및 냉각시간에 미치는 영향과 코일의 부위별 온도변화를 확인하고, 기계적 성질의 균일성을 결정하는데 가장 중요한 적입단별 전열변화와 코일폭 변화에 따른 보정시간의 변화를 조사한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 분위기 가스를 HN_x 가스에서 Ax 가스로 변화시키고 장입유량을 증가시킴에 따라 가열속도는 약 2배정도 빠르게 되고 전체소둔 사이클은 2.7배 정도 단축된다.
- 2) 가열시간이 짧은 경우 가장 승온속도가 느린부분은 B단 중권부이고 장시간 가열시는 저온점이 중권부에서 내권부로 이동한다. 냉각시에는 이 부분의 온도가 높게 나타난다. 가열완료시 HN_x 분위기 가스의 경우는 저온점이 코일의 내권부에서 1/3되는 지점이나, Ax 가스의 경우는 코일의 중권부가 된다.
- 3) 가열시 승온속도가 가장 빠른 부분은 최상단 외권부이고 냉각시에는 이 부분의 온도가 낮게 나타나므로, 이곳이 가열시는 고온점이고, 냉각시에는 저온점이 되는 현상은 분위기 가스의 성분과 장입유량에 관계된다.

- 4) 소둔사이클 결정시 보정시간은 적입코일의 폭에 따라 결정되며 제품의 균질화를 위해 대폭(1219mm)의 보정시간을 소폭(914mm)에 비해 2.5시간 정도 더 길게 하여야 한다.
- 5) 전열속도가 빠른 Ax가스를 사용하여 소둔열처리를 할 경우 가열종료시 급격한 냉각을 피하기 위하여 5시간동안 서냉을 실시하면 전체 소둔시간은 1시간 연장된다.

참고문헌

1. 梅本純生, 上野宏昭 : Batch式 焼鈍爐の 加熱完了豫測 System, 川崎製鐵技報, Vol. 4, No. 4, pp. 84~86, 1982
2. 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
3. Rovito, A. J. : Computer-Based Models for Predicting End of Anneal, Time at LTV, AISE Year Book, pp. 245~250, 1989
4. Harver, G. F. : Mathematical Simulation of Tight Coil Annealing, Metallurgical Forum 9, Mathematical Models. The Journal of the Australian Institute of Metals, Vol. 22, No. 1, March, pp. 81~85, 1997
5. 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
6. Perrin, A. R., Guthrie, R., and Stonehill, B. : The Process Technology of Batch Annealing, Iron and Steel Maker, Oct., p. 28, 1988
7. 西野降大, 芝下壽大, 宮崎英明, 濟藤康行 : 100% 水素爐の 設備と操業事項, 住友金屬, Vol. 44, pp. 51~52, 1992
8. Heribert L. : The HICON/H2 Bell Annealer of 1989, Iron and Steel Engineer, March, p. 43, 1990
9. Heribert L. : Annealing Cold Rolled Strip in Hi-Con./H2 Bell Annealer, Iron and Steel Engineer, 4, p. 46, 1988
10. 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
11. Tajima S., Shirouzu M. : The Characteristics of Bell Annealers Processing, The First International Conf., May. 20~22, pp. 4~5, 1992
12. Mizikar. E. A : An Improved Method for Calculating Soak Times in Batch Annealing, Iron and Steel Engineer, May, pp. 339~343, 1972
13. Rovito. A. J. Voss. G. F. William M. A. : Batch Anneal Coil Cold Spot Temperature Prediction Using on-Line Modeling at LTV, Iron and Steel Engineer, Vol. 9, pp. 31~35, 1991
14. Zeoca. A. and Schunk. J. H : A Dynamic Control Model of Box Annealing, AISE Year Book, pp. 195~199, 1977
15. LEwis, R. M. : Tight Coil Annealing Process Modeling and Development, BHP Technical Bulletin, Vol. 25, No. 2, Nov., 1981
16. Sterling, D. A. : Distributed Control of Batch Annealing Using Coil Interior Temperature Prediction, Third Conference on Control Engineering, Sydney, Australia, 1986