

〈論 文〉

HNx 분위기가스중에서 BAF소둔시 코일의 온도변화에 관한 연구

전언찬* · 김순경**

(1993년 6월 23일 접수)

A Study on Temperature Variation of Coil on BAF Annealing in HN_x Atmospheric Gas

Eon-Chan Jeon and Soon-Kyung Kim

Key Words : Atmosphric Gas(분위기가스), Cold Spot(저온점), Thermocouple(열전대), Gas Flow Rate(공급유량), Cold Rolled Steel Sheet(냉간압연강판)

Abstract

A cold spot temperature control system for the batch annealing furnace has been established in order to reduce energy consumption which is essential to improve productivity and stabilize the properties of products. A relationship between annealing cycle time and gas flow rate is developed and also for the 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 cold rolled steel sheet batch annealing are as follows. (1) Cooling rate increasing gradually with increasing atmospheric gas flow, but heating rate is hardly increasing without atmospheric gas component change. (2) In case of short time heating, the slowest heating part is the center of B coil and in case of long time heating, the low temperature point moves from the center of coil to inside coil. (3) The outside of top coil is the highest temperature point under heating, which becomes the lowest temperature point under cooling. (4) Soaking time determination depends on the input coil width, and soaking time for quality homogenization of 1214 mm width coil must be 2 hours longer than that of 914 mm width coil.

기 호 설 명

A_i : 인너커버 (Inner cover) 전열면적
 A_l : 코일 전열면적
 Ca, Cc, Cl, Cn : 상수
 C_{pg} : 가스비열
 Da : 원주방향의 유동직경
 Dc : 콘벡터 (convector) 유동직경
 Fa : 상수

ha : 대류 열전달계수
 hc : 콘벡터채널 (convector channel) 대류 열전달 계수
 Hi : 인너커버 높이
 hn : 코일 Core의 대류 열전달계수
 Kg : 가스 열전도계수
 n : 코일의 수량
 Pr : Prandtle수
 Q_1 : 인너커버로부터 분위기가스에 전달되는 열량
 Q_2 : 분위기가스로부터 코일에 전달되는 열량

*정회원, 동아대 기계공학과

**연철강공업(주)

- Q_3 : 분위기가스로부터 코일 양단부에 전달되는 열량
 Q_4 : 분위기가스가 코일 내경부를 통해 전달되는 열량
 Re : 레이놀즈수
 T_i : 가스온도
 T_g : 가스온도
 T_l : 코일 외권부 온도
 V_a : 가스속도
 V_c : 콘벡터채널 Core가스속도
 V_o : 가스공급 유량
 ρg : 가스밀도

1. 서 론

최근 철강업계를 비롯한 모든 산업분야에서 에너지절감을 위하여 설비의 개조 및 조업조건 개선 등 많은 노력을 하고 있으며, 특히 냉간압연분야에서는 연료가 가장 많이 소모되는 소둔공정에서의 에너지절감을 위하여 많은 실험과 설비의 개조가 이루어지고 있다. 냉간압연판을 열처리하는 소둔설비는 연속소둔(continuous annealing line) 방법과 BAF(batch annealing furnace)에 의한 방법으로 크게 분류가 된다. 현재 철강업계의 선두주자라 할 수 있는 선진국에서는 냉간압연된 철판의 소둔작업은 주로 연속소둔에 의하여 이루어지고 있으나, 특수한 제품을 생산하거나 다품종 소량생산을 하는 냉간압연 공장에서는 다양한 수요자의 요구수준에 적절하게 부응할 수 있는 BAF에 의하여 주로 소둔을 하고 있다. 국내에서도 마찬가지로 일관제철소에서는 연속소둔이 주종을 차지하고 있으나, 단순히 냉간압연만 하는 공정을 가진 공장에서는 다양한 제품생산에 적합한 BAF에 의하여 열처리를 하고 있으며, 특히 냉간압연 공정중에 소둔시에 소요되는 에너지가 전체 공정에서 소모되는 에너지의 약 50%정도를 차지하므로 연료, 전력 및 분위기가스 등 원단위(unit consumption) 절감이 매우 중요하다.^(1~4)

BAF에서 소둔 원단위를 절감하기 위해서는 가열시간 단축이 가장 큰 과제라고 생각되지만 기계적 성질 및 불량발생 등 여러가지 제약조건 때문에 소둔 사이클자체의 조정이 곤란하여 콘벡터 플레이트를 바꾸거나 폐열회수장치 등의 설비개조를 통한

열효율개조를 통한 열효율 향상으로 가열시간을 단축시키고 기계적 성질을 균일화하여 품질을 향상시키는 물론, 사이클의 최적화로 에너지절감을 이룩하여 원가절감을 통한 경쟁력 향상에 주력하고 있다.

그러나, 최근 몇년 동안은 BAF의 부분적 개조와 더불어 분위기가스의 조성을 변화시키고 공급유량(flow rate)을 증가시켜 열전도율을 좋게하고 생산성을 향상시키는 물론 품질도 향상시키고 있다.^(5~8)

각종 연구자료에 의하면^(5~6) 소둔 분위기가스는 열전도율이 좋고 환원성이 우수한 수소의 함량에 따라 생산성향상 및 판면 청정도의 개선효과가 크다는 연구결과는 많으나, 실제 생산중인 BAF에서의 유량변화가 가열시간에 미치는 영향에 대한 연구결과는 거의 없다.

따라서 본 연구에서는 유량변화가 가열시간에 미치는 영향과 소둔사이클 결정에 큰 영향을 미치는 코일의 부위별 온도변화를 확인하고, 기계적 성질의 균일성을 결정하는데 가장 중요한 적입단별 전열변화와 코일폭 변화에 따른 균열(soaking)시간의 변화를 확인하여 소둔 사이클정립에 활용이 가능하도록 하기 위하여 실제 생산중인 BAF에서 실험을 통하여 고찰 하고자 한다.

2. 이론적 배경

실제 BAF에서의 가열 및 냉각시간에 영향을 미치는 요인은 여러가지가 있으나 분위기가스의 종류나 공급유량 및 냉각방법 등이 있고, 가열시 코일에 열이 전달되는 형태는 복사와 대류에 의하여 열이 전달되기 때문에 복사열과 대류열의 이동법칙을 기초로 하여 열전달을 연구한 결과를 보면 가열은 주로 축방향 대류(axial convection)에 의해 80% 정도 이루어지고 나머지는 반경방향 복사(radial-radiation)에 의하여 주로 이루어진다.⁽⁹⁾

대류에 의한 열전달은 베이스팬(base fan)에 의하여 강제로 유동되는 분위기가스에 의하여 이루어지며, 전열과정은 Fig. 1에서 보는 바와 같이 1차적으로 인너커버를 통하여 분위기가스로 전달되고, 분위기가스는 코일의 외부로 열량을 전달하여 전도와 대류에 의한 코일 전체의 열전달이 이루어지게 한다. 따라서 분위기가스의 열전달이 소둔사이클 결정에 가장 중요하고, 일반적으로 사용되는 대류에 의한 열전달식은 다음과 같다.^(10~13) 분위기가스

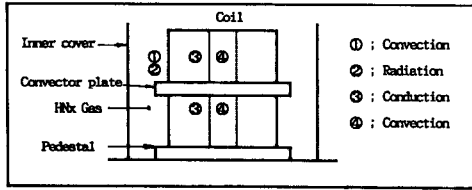


Fig. 1 Schematic diagram for mechanism of heat transfer

의 열전달계수는 점성계수, 속도, 밀도, 열전달률 등에 의해 달라진다.

$$Q_1 = ha \cdot (T_i - T_g) A_i$$

$$ha = 0.0296 \cdot Ca \cdot Fa \cdot \rho_g \cdot Va \cdot C_{pg} \cdot Re^{-0.2} \cdot Pr^{-2/3}$$

$$(Ca = 1.56)$$

$$Fa = 1 + \frac{2.3 \cdot Da \cdot n}{Hi} \quad (1)$$

$$Q_2 = ha \cdot (T_g - T_l) A_l$$

$$ha = 0.0296 \cdot Cl \cdot \rho_g \cdot Va \cdot C_{pg} \cdot Re^{-0.2} \cdot Pr^{-2/3}$$

$$(Cl = 0.35) \quad (2)$$

$$Q_3 = hc \cdot (T_g - T_l) A_l$$

$$hc = 0.0045 \cdot Cc \cdot C_{pg}^{0.81} \cdot Kg^{0.19} \cdot Vc^{0.75} \cdot Dc^{0.25}$$

$$(Cc = 1.90) \quad (3)$$

$$Q_4 = hn \cdot (T_g - T_l) A_l$$

$$hn = Cn \cdot Vo^{0.8} \quad (Cn = 0.00025) \quad (4)$$

위의 식(1)은 인너커버로부터 분위기가스에 전달되는 열량을 계산하는 식이며, 분위기가스로부터 코일에 전달되는 열량은 식(2)와 같다. 분위기가스로부터 코일 상·하단부에 전달되는 열량은 식(3)으로부터 구할 수 있으며, 분위기가스가 코일 내경부를 통해 전달하는 열량은 식(4)로 나타냈다. 여기서, 상수인 Ca , Cc , Cl 및 Cn 의 값은 컴퓨터 시뮬레이션에 의하여 구한 값이다.⁽⁷⁾

3. 실험장치 및 방법

3.1 실험재료

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

그리고 소둔은 Fig. 2에서와 같이 냉간압연후 가 공경화된 코일을 재결정 온도 이상으로 가열하여 원하는 기계적 성질을 얻기 위한 공정으로 적절한 온도와 시간을 결정하는 것이 가장 중요하다. 소둔

Table 1 Chemical compositions of specimen (wt. %)

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

Table 2 Mechanical properties of specimen

Material	Tensile strength (kgf/mm)	Yield strength (kgf/mm)	Hardness (HR _B)	Elongation (%)
SAE 1008	72.00	65.80	85.90	4.20

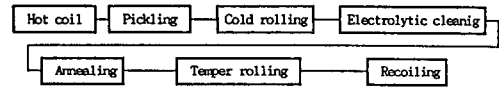


Fig. 2 Flow chart of experimental procedure

실험에 사용한 재료의 두께는 1.0 mm이며 폭은 914 mm와 1219 mm인 두 종류의 코일을 장입하여 가열 및 냉각실험을 하였다.

3.2 실험장치

BAF소둔은 냉간압연강판 열처리방법의 하나로 서 타이트(tight)코일의 상부와 하부 사이에 콘벡터 플레이트를 사용하며, 베이스 하부로부터 공급되는 분위기가스가 인너커버와 코일사이를 통하여 상승하다가 Fig. 3에서 보는 바와 같이 콘벡터 플레이트를 통하여 부분적으로 코일의 내경부로 흐르게 되고 나머지는 인너커버 상부로부터 톱커버(top cover)를 통하여 코일의 내경부를 통한 후 베이스의 배출구로 내려와 밖으로 나가게 된다.

일반적으로 BAF의 경우 코일을 3~4단으로 장입하여 작업하는 경우가 많은데 각 단별로 코일의 온도가 다르기 때문에 전체 코일의 온도를 일정하게 제어하기가 불가능하므로 가장 온도가 낮은 저온점(cold spot)을 실험을 통하여 찾아내고 그 온도를 기준으로 열처리 사이클을 정한다.

온도 제어용 센서(sensor)인 열전대(thermocouple)는 설치상 문제점이 없는 베이스에 설치하여 코일온도를 제어하며, 로(爐) 자체의 온도는 로에 설치된 열전대에 의하여 제어하고, 실제 사이클의 운용은 저온점에 열전대를 설치할 수 없으므로 베이스에 설치된 #2 열전대의 온도를 보상하여 적용한다.

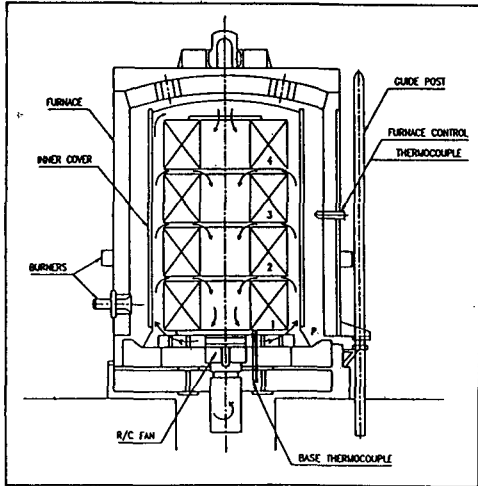


Fig. 3 Schematic of single stack batch annealing furnace

Fig. 3과 같은 로는 HN_x 가스를 주로 사용하고 있고 유량은 $10 \text{ m}^3/\text{h}$ 이내이므로 대류에 의한 열전달이 미흡하여 사이클당 소요시간이 길다. 분위기 가스의 성분 구성도 96%는 질소(N_2)이고, 실제 표면청정(surface cleaning)도 개선이나 열전달계수가 높은 수소(H_2)의 함량은 4% 정도이므로 가열에 소요되는 시간이 길게 된다.

3.2 실험방법

HN_x BAF 소둔시 분위기가스의 공급유량에 따라 로내 가스의 치환속도 및 가열중 강판표면의 변화와 가열 및 냉각시간도 변하게 되므로 이를 확인하기 위한 총 공급유량을 Table 3에서와 같이 변화시켰다. 특히 가열, 균열 및 냉각시 분위기가스 공급량은 강판 제조비용과 직결되므로 최적유량을 설정해야 한다.

로내에 공급되는 분위기가스 유량은 로와 장입물의 체적 및 강판 표면적 등을 감안하여 최적량의 유량을 공급하였다. 이것은 로 내부 빈공간에 존재하는 잔류산소와 강판에 흡착된 산소 및 산화물을 환원하는데는 수소가 필요하며, 폐가스를 로 외부로 신속히 배출하는 데는 질소가스가 임계유량 이상으로 될 때 가능하기 때문에 분위기가스의 성분은 변화시키지 않고 공급유량을 변화시켰다.

따라서 가열, 균열 및 냉각시 사이클에 따라 경제성을 고려한 공급가스 유량과 사이클 온도는 Fig. 4와 같이 설정하여 Table 3과 같은 조건으로

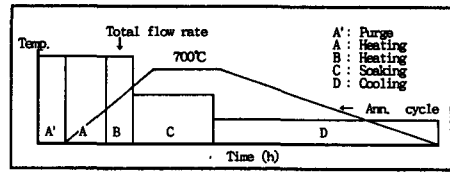


Fig. 4 Schematic diagram of batch annealing cycle

Table 3 Gas flow rate for batch annealing cycle.

Zone (°C)	Total gas flow rate(m^3/h)		
	Case 1	Case 2	Case 3
A'(Purging)	8	90	90
A (0~400)	3	90	90
B (400~600)	3	40	40
C (600~Soaking)	3	20	20
D (Cooling)	5	10	20

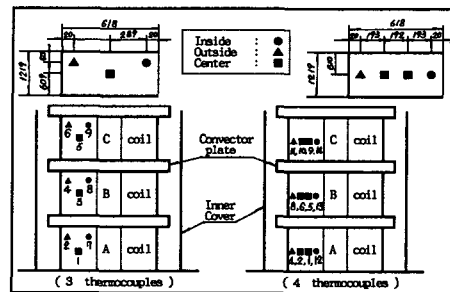


Fig. 5 The thermocouple location diagram of each coil

유량을 변경시켜 그 변화에 따른 승온 및 냉각시의 전열 정도를 측정하였고, 코일의 3단 장입시와 4단 장입시의 온도분포를 단별로 측정하였다.

소둔시 인너커버로부터 코일로 전달되는 전열량은 대류, 복사 및 전도에 의하여 이루어지지만 주로 축대류에 의하여 열전달이 이루어지며, 복사와 전도는 대류에 비하여 전열량이 작기 때문에 본 실험에서는 코일 자체에서 발생하는 전도와 대류가 동시에 발생하는 복사현상을 동일한 조건으로 가정하고 대류에 의한 변수를 찾고자 하였다.

코일 온도를 측정할 경우 열전대 설치위치의 선정이 매우 중요하므로 본 실험에서는 Fig. 5에서와 같이 열전대를 4군데 설치하여 온도분포를 측정하여 저온점의 변화와 가열완료시 저온점의 위치를

확인하고, 이 점을 기준으로 열전대를 3군데 설치하였다.

4. 실험결과 및 고찰

4.1 유량변화에 따른 전열변화

가열시간을 실험해 본 결과 Fig. 6에서 보는 바와 같이 분위기가스의 유량증가에 따른 가열시간은 설비개조 없이도 다소 단축됨을 알 수 있었다.

앞의 식(1), (2), (3) 및 (4)에서 열전달 계수는 단면적이 일정할 경우 공급유량에 비례함을 알 수 있듯이 분위기가스의 공급유량이 많은 Case 2, 3의 경우 30시간 후에 700℃에 도달하였으나 유량이 적은 Case 1의 경우는 34시간 정도 소요되었다.

가열시와 마찬가지로 분위기가스의 공급유량에 따른 냉각시간 변화를 그래프로 나타내 보면, Fig. 7에서와 같이 3가지 실험중 분위기가스 유량이 가장 적은 Case 1은 60시간 소요되었고, Case 2, 3은 각각 56, 52시간 정도가 소요되어 분위기가스의 공급유량에 따라 냉각시간의 변화가 있음을 알 수 있었다.

4.2 코일의 부위별 온도변화

Fig. 8은 Case 1에서 코일의 부위별 온도를 측정하여 가열시간에 따라 온도가 어떻게 변하는가를 확인하고 최저온점을 찾기 위하여 열전대를 코일 반경방향으로 4군데 설치하여 온도분포를 확인하였으며, 일반적으로 저온점은 코일 반경방향에서 보면 내경부에서 1/3되는 점으로 알고 있지만,⁽¹³⁾ 실험결과 가열초기에는 Fig. 8에서 보는 바와 같이 최저온점이 중권부(coil center)에서 외권부(coil outside)쪽으로 치우친 상태에서 가열 16시간이 지나면서 중권부로 옮겨와 24시간이 지나면서 내권부(coil inside)쪽으로 이동함을 알 수 있다.

그러나 중권부와 큰 차가 없어 저온점을 중권부라고⁽¹⁴⁾ 가정한 Fig. 8에서는 코일의 중앙에 열전대를 설치하여 가열속도를 확인하고 B단 중앙부위의 온도를 소둔제어용 기준온도로 하여 실험을 하였다.^(15~17)

Case 1에서 냉각시 온도분포를 코일 부위별로 조사해 본 결과 Fig. 9과 같이 나타났다. A단의 경우 약 8시간까지는 냉각이 완만하게 이루어 지다가 그 이후 4시간 동안은 급속히 냉각되며, 16시간 이후부터 급격하게 냉각됨을 알 수 있다. B단의 경

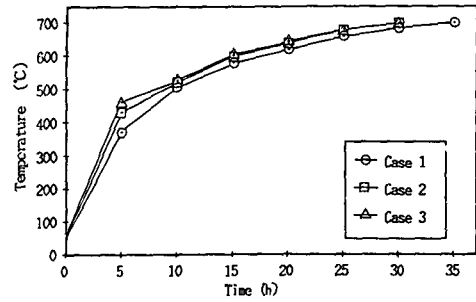


Fig. 6 Relation between heating time and temperature

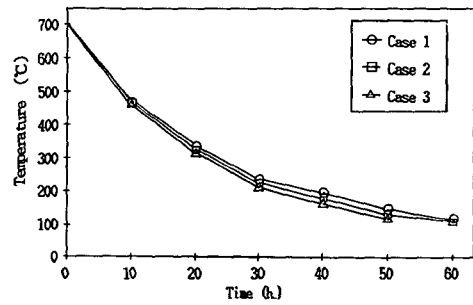


Fig. 7 Relation between cooling time and temperature

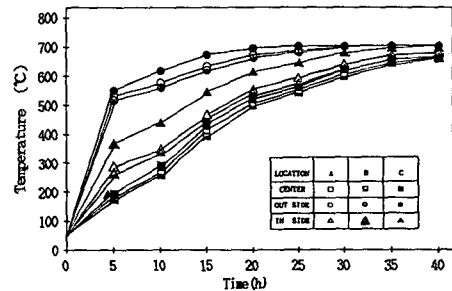


Fig. 8 Variation in coil temperature with time during heating

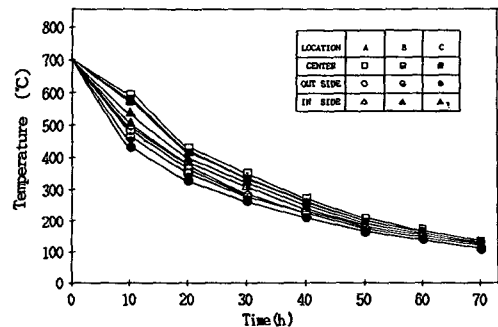


Fig. 9 Variation in coil temperature with time during cooling

우는 C단과 비슷한 경향을 보이나 C단의 외권부와 내권부 온도가 B단보다 다소 빠르게 냉각된다. C단은 4시간까지는 냉각이 잘 이루어지지 않다가 그 이후부터는 거의 일정하게 냉각이 이루어진다. 그러나 전체적으로 보면 냉각 시작후 16시간이 지나면서 급속한 냉각이 이루어지다가 24시간 후 부터는 A, B, C단이 거의 같은 비율로 냉각이 이루어짐을 알 수 있다.

4.3 코일의 단별 전열변화

Fig. 10의 그래프는 분위기가스의 유량이 가장 적고 실 소둔에 적용되고 있는 Case 1의 경우에 인너커버 내부에 3단으로 적재된 코일의 부위별 전열경향을 나타낸 것으로서 가열 4시간까지는 버너와 가장 가까운 A단 코일의 가열속도가 가장 빠르게 나타났으나, 그 이후 부터는 상단 코일인 C단 코일 외권부의 승온속도가 가장 빠르다. 코일 내권부 온도는 C단이 가장 높으며 B단 내권부는 가열 개시후 24시간까지 가장 낮은 상태이고, 24시간 이후부터는 A단과 거의 유사하여 전열속도가 가장 늦은 내권부의 승온속도는 B단이 가장 느림을 알 수 있다. 가열시 C단이 가장 빠르게 가열 되는 것은 가열된 가스가 인너커버 상부에서 머무는 시간이 길기 때문이다. C단 외권부의 경우에는 21시간 이후부터는 700°C를 유지하지만 B단 중권부는 39시간이 지나도 660°C 정도 밖에 가열되지 않는다. 따라서, 소둔 사이클은 가장 중요한 부분이라 볼 수 있는 B단의 중권부가 재결정 온도에 도달하는 시간을 기준으로 한다. 특히 중권부의 온도는 직접적으로 확인할 수가 없기 때문에 실험을 통하여 얻어진 수치를 기준으로 베이스 하부에 설치된 열전대 온도와의 차이를 추정하여 재결정이 일어나는 온도와 수요자가 요구하는 기계적 성질을 얻을 수 있는 온도 및 시간을 실작업에 적용한다.⁽¹³⁾

BAF소둔시 가열보다 긴 시간을 필요로 하는 냉각과정이 생산성에 있어 큰 비중을 차지하게 되므로 생산성 향상의 일환으로 냉각시간을 단축시키기 위하여 인너커버 외부를 수냉 혹은 공냉시키는 방법⁽⁹⁾ 있으나 Fig. 11에서는 강제 냉각설비를 사용하지 않고 자연냉각시킨 경우이다. 여기서 A, B, C단은 중권부는 가열이 끝난후 약 3시간까지는 온도가 급격히 떨어지지 않고 서서히 냉각되며 그 이후 부터 정상적으로 냉각된다. 이는 내부의 열이 외권부로 전달이 되는 과정으로 볼 수 있다. 반대로 외

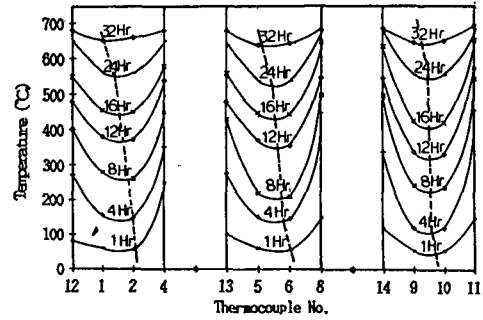


Fig. 10 Actual temperature measurements at mid width of each coil during heating (Center line; Variation of cold spot temperature)

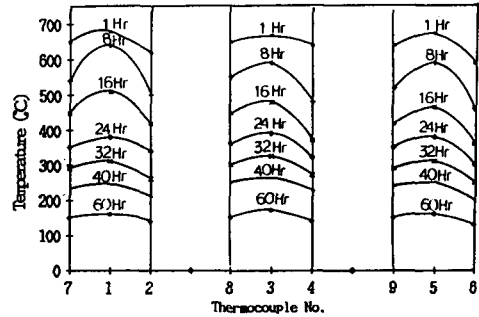


Fig. 11 Actual temperature measurements at mid width of each coil during cooling

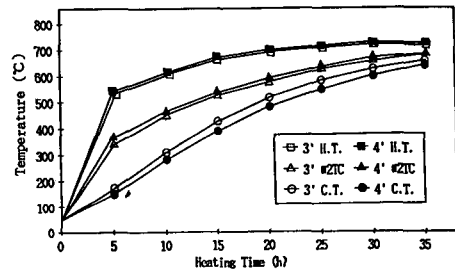


Fig. 12 Variation in coil temperature (hot spot, #2TC and cold spot) with time during heating

권부는 냉각시작 2시간까지는 온도가 다소 빨리 떨어지다가 내권부의 열이 외권부로 전달되는 과정에서는 내권부와 유사한 율로 냉각이 이루어짐을 알 수 있다.

4.2 코일 폭변화에 따른 균열시간의 변화

냉간압연제품의 폭은 다양하게 생산되지만 914 mm와 1219 mm가 대표적이다. 따라서 Fig. 12는 대표적인 폭을 기준으로 한 온도 분포도로서 가열

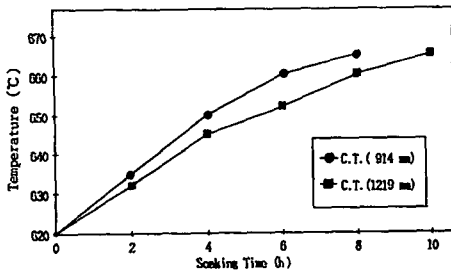


Fig. 13 Variation in cold spot temperature with time during soaking

시 베이스에 설치된 #2열전대의 온도변화에 따른 고온점과 저온점의 온도변화를 나타냈다. 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. #2열전대는 가열후 30시간까지는 다소 편차를 보이다가 그 이후 부터는 편차가 줄어드는 것을 볼 수 있다.

Fig. 13은 #2열전대가 지정한 값에 도착한 후 부터 균열과정중 온도의 변화를 나타냈다. 가열이 완료된 후 코일 중권부의 온도가 내외권부에 근접할 때 까지 균열을 시키는 과정에서 소폭의 경우 6시간까지는 급속하게 온도가 상승되고 그 이후 부터는 서서히 상승되어 8시간후에는 균열이 완료되지만, 대폭의 경우 균열이 완료되기까지는 10시간 정도 소요되어 2시간이 더 필요하다. 이는 축방향 대류에 의한 열전달이 반경방향보다 영향이 큼을 나타내는 것이므로 균열시간 결정시는 제품의 균질화를 위해 제품의 두께보다는 폭에 따라 결정해야 한다.

6. 결 론

냉간압연 강판의 소둔작업시 유량변화가 가열시간에 미치는 영향과 코일의 부위별 온도변화를 확인하고, 기계적 성질의 균일성을 결정하는데 가장 중요한 장입단별 전열변화와 코일폭 변화에 따른 균열시간의 변화를 조사한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 분위기가스의 공급유량이 증가함에 따라 냉각속도가 다소 빠르게 되지만, 가열시는 분위기가스의 성분변화 없이는 거의 효과가 없다.
- (2) 가열시간이 짧은 경우 가장 승온속도가 느린

부분은 B단 중권부이고 장시간 가열시는 저온점이 중권부에서 내권부로 이동한다. 냉각시에는 이 부분의 온도가 높게 나타난다.

(3) 가열시 승온속도가 가장 빠른 부분은 최상단 외권부이고 냉각시에는 이 부분의 온도가 낮게 나타나므로, 이곳이 가열시는 고온점이고, 냉각시에는 저온점이 된다.

(4) 소둔 사이클결정시 균열시간은 장입코일의 폭에 따라 결정되며 제품 균질화를 위해 대폭(1219 mm)의 균열시간을 소폭(914 mm)에 비해 2시간 정도 더 길게 하여야 한다.

참고문헌

- (1) 梅本純生, 上野宏昭, 1982, "Batch 式 燒鈍爐の 加熱完了豫測 System," 川崎製鐵技報, vol. 4, No. 4, pp. 84~86
- (2) Mizikar, E. A., Veith, R. A. and Bresky, N. P., 1972, "Improved Quality and Pructivity from Batch Annealing," *American Iron and Steel Institute Regional Technical Meeting*, Nov. 9, pp. 125~127
- (3) Rovito, A. J., 1989, *Computer-Based Models for Predicting End of Anneal*, Time at LTV, AISE Year Book, pp. 245~250
- (4) Harver, G. F., 1977, "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
- (5) 西野降夫, 芝下壽夫, 宮崎英明, 齊藤康行, 1992, "100% 水素爐の 設備と操業 事項," 住友金屬, Vol. 44, pp. 51~52
- (6) Heribert, L., 1990, "The HICON/H2 bell Annealer of 1989," *Iron and Steel Engineer*, Vol. 67, No. 3, p. 43
- (7) Rao, T. R. S., Barth, G. J. and Miller, J. R., 1983, "Computer Model Prediction of Heating, Soaking and Cooling Times in Batch Coil Annealing," *Iron and Steel Engineer*, Vol. 60, No. 9, pp. 22~31
- (8) Perrin, A. R., Guthrie, R. and Stonehill, B., 1988, "The Process Technology of Batch Annealing," *Iron Steel Maker*, Oct., pp. 27~33

- (9) 宮田 濟, 小島 宏, 1978, "Thit Coil 燒鈍の傳熱解枚のその應用," 製鐵研究, 第 293 號, P. 81, 1978
- (10) Mizikar, E. A., 1992, "An Improved Method for Calulating Soak Times in Batch Annealing," *Iron and Steel Engineer*, Vol. 49, No. 6, p. 339
- (11) Trinks, W. and mawhinney, M. H., 1961, *Industrial Furance*, John Wiley & Sons, New York
- (12) Reshenow, W. M., and Choi, H., 1961, *Heat, Mass and Momentum Transfer*, Prentice Hall
- (13) Rovito, A. J., Voss G. F. and William, M. A., 1991, "Batch Anneal Coil Cold Spot Temperature Prediction Using on-Line Modeling at LTV," *Iron and Steel Engineer*, Vol. 168, No. 9, pp. 31~35
- (14) Schaok, A., 1965, *Industrial Heat Transfer*, John Wiley & Sons, New York
- (15) Zecca, A., and Schunk, J. H., 1977, *A Dynamic Control Model of Box Annealing*, AISE Year Book, pp. 195~199
- (16) Sterling, D. A., 1986, "Distributed Control of Batch Annealing Using Coil Interior Temperature Prediction," *Third Conference on Control Engineering Sydney*, Australia