

BAF 소둔공정에서 탄화 현상에 관한 연구

이종렬
계명대학교 화학공학과

A study on carbonization on the surface of steel sheet during the BAF annealing process

Jong-Lyul Lee

Dept. of Chemical Eng., Keimyung University

요 약 철강산업에서, 냉연강판제조는 국가의 산업 경쟁력과 높은 부가가치를 창조하기 위한 전·후방 산업의 핵심 중의 하나이다. 특히 중소기업에서, 주요 문제 중의 하나는 소둔공정에서 일어나는 냉연강판의 탄화 현상이다. 이러한 냉간압연 강판 코일의 표면에서 발생하는 탄화는 생산을 감소시키는데 영향을 미친다.

냉간압연 강판 코일 표면의 탄화 현상의 원인을 규명하기 위해 여러 가지 실험을 실시한 결과, 다음과 같은 결과가 얻어졌다.

- (1) 현장에서 사용되는 압연유의 분석으로부터, 약 40 ppm 정도의 탄화 물질이 포함되어 있음을 발견하였다.
- (2) FT-IR 분석에 의한 신 압연유와 사용 압연유의 열 변성 특성 비교에서, 2900 및 1750 cm^{-1} 피크의 상대 높이 강도가 현저히 감소한 것으로부터 열 변성이 일어났음을 나타내었다.
- (3) 압연유의 열분해는 220 $^{\circ}\text{C}$ 부근에서 일어나는 것으로 나타났다. 또한, 200 $^{\circ}\text{C}$ 에서의 소둔 실험은 시료의 탄화 현상이 실질적으로 관찰되지 않음을 보여 주었다. 그러나 240 $^{\circ}\text{C}$ 이상의 온도에서는 탄화가 관찰되었다.

Abstract In steel industries, cold-rolled sheet manufacturing is one of the links between the front and rear important industries for national competitiveness and high value-added production. In particular, in small and medium-sized enterprises, one of the major problems is the carbonization phenomenon of the steel sheet during the annealing process. Carbonization occurring on the surface of the coil help reduce steel production.

After conducting various experiments to identify the cause of carbonization on the surface of a cold-rolled steel, the following results were obtained:

- (1) An analysis of the rolling oil, which is used in the field, revealed it to contain approximately 40 ppm carbonized material.
- (2) A comparison of the thermal denaturation characteristics of the fresh rolling oil and using rolling oil by FT-IR analysis showed that thermal denaturation had occurred, as shown by the significant decrease in the relative intensity of the 2900 and 1750 cm^{-1} peaks.
- (3) The thermal decomposition of the rolling oil took place for the rolling oil at approximately 220 $^{\circ}\text{C}$. Furthermore, annealing experiments at 200 $^{\circ}\text{C}$ showed that the carbonization phenomenon of the sample was not observed. On the other hand, carbonization was observed at temperatures higher than 240 $^{\circ}\text{C}$.

Keywords : annealing process, carbonization phenomenon, cold-rolled sheets, rolling oil, small and medium-sized enterprises, steel industries, thermal denaturation

본 논문은 중소기업청 지원 산학협력 연구과제로 수행되었음.

*Corresponding Author : Jong-Lyul Lee(Keimyung Univ.)

Tel: +82-10-2580-5279 email: k2748@hanmail.net

Received May 10, 2018

Revised June 7, 2018

Accepted July 6, 2018

Published July 31, 2018

1. 서론

고품질의 철강소재를 안정적으로 공급하기 위한 철강 산업의 발전은 우리나라의 지속적인 경제성장을 위해 필수적이라 할 수 있지만, 최근 들어 중국 등의 후발 산업 국가의 추격에 의해, 기술 경쟁력이 크게 저하되고 있는 실정에 있다.[1]

특히 고부가가치 철강제품인 냉연강판이 중국의 영향으로 경쟁력이 크게 저하되고 있어, 보다 높은 비교우위의 국제 경쟁력을 갖는 기술개발이 절실히 요구되고 있다.[2-3]

자동차, 조선, 가전 등과 같이 냉연강판을 대량으로 공급되는 곳은 대형 제철소에서 직접 공급하지 만, 건설, 건축, 공구, 기계류, 사무용품 등 다양한 산업에 다품종 소량으로 사용되는 냉연강판은 그 특성을 구현하기 위해 중소기업에서 2차 가공을 통해 공급하고 있다.

즉 2차 가공을 통해, 냉연제품에 높은 내식성, 도장성 등을 부가해야 하는데, 이를 위해서는 강판표면에 결정적인 영향을 주는 고급 소둔기술(燒鈍技術)이 필요하다.[4]

일반적으로, 대기업에서는 CAL(Continuous Annealing Line: 연속어닐링설비) 방식을, 그리고 중소기업에서는 BAF(Batch Annealing Furnace: 상자어닐링설비) 방식의 냉연코일 소둔공정이 채택되고 있다.

BAF 소둔공정(annealing process)은 에너지의 소모가 크고, 강판의 표면 상태 및 강도의 품질에 결정적인 영향을 미치므로, BAF 소둔공정을 최적으로 유지하는 것이 중요한데, 현재 이 방식으로 냉연강판을 소둔할 때 가장 문제가 되고 있는 것은 강판표면에 나타나는 탄화현상(炭化懸象)이다.

즉 냉연강판표면에 나타난 탄화현상은 제품의 품질에 직접적인 영향을 미치므로, 발생한 표면 불량 부분을 절삭제거(切削除去)하는데, 이로 인한 생산성 저하와 인건비의 낭비가 발생하고 있다.

탄화현상 방지하기 위해서는 정확한 원인을 규명해야 하는데, 이에 대한 연구가 크게 부족한 실정인데, 이것은 중소기업의 국가차원에서 기술개발에 대한 지원이 부족하기 때문으로 사료된다.[5]

본 논문은 BAF 소둔공정에서 발생하는 냉연강판 표면의 탄화현상에 관한 것으로, BAF 소둔 특성과 탄화 원인에 대한 특성을 분석을 통해 탄화원인을 규명하고

저감방안을 제시하였다.

2. 냉연코일의 소둔 현황 및 표면 탄화 특성

2.1 냉연코일 제조공정에서 소둔 특성 분석

일반적으로, 중소기업에서는 제철소로부터 냉연(冷延)코일(coil)을 구입하여 Slitting Line에서 주문에 적합하게 자른 후, 냉간압연기(4Hi-Cold Rolling Mill)로 적정 두께로 압연한다. 이때 발생하는 잔류응력을 제거하기 위해 소둔로(Annealing Line)에서 열처리를 하며, 최종적으로 기계적 성질 개선과 표면사상 및 형상을 수요가의 요구에 맞도록 0.3~3.0%의 압하율로 가볍게 Skin Pass Mill(SPM)을 이용하여 압연한다.

Fig. 1은 소둔로에서 일어나는 표면불량의 원인을 조사하기 위해 나타낸 것이다.

Fig. 1에서, 좌측의 (a)는 BAF 소둔로의 외부 사진이고, 우측의 (b)는 소둔로(furnace) 내부에 코일을 적치한 개요도 이다.

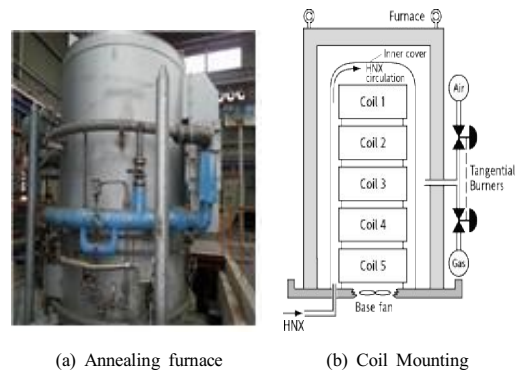


Fig. 1. Overview of BAF Annealing Furnace in Cold Rolled Products Manufacturing Process.

(b)에서, 소둔로 내부에는 내부커버(inner cover)를 설치되어 있는데, 이것은 연소가스의 코일(coil)표면 접촉을 방지하고, 코일 측에 분위기가스를 흐르게 하기 위한 것으로, 연소열에 의해 발생할 수 있는 국소 가열, 미연소(未燃燒)로 인한 탄소발생 등과 같은 표면 결함을 방지하고, 코일표면에 환원성 분위기를 조성하여 압연유의 탄화를 방지하기 위함이다.

즉, 냉연코일의 표면에서 발생하는 탄화결함은 매우 중요하기 때문에 이를 방지하기 위해 간접가열방식을 채

택하고, 내부커버 안쪽으로 질소와 수소가 구성되는 분위기가스(HNx)를 주입하여 소둔분위기를 환원분위기로 유지하고 있다.[6]

현장에서는 LNG의 연소를 통해 발생된 연소가스는 BAF 소둔로의 내피와 외피 사이로 흐르는데, 일반적으로 약 200분 동안 가열하여 상온에서 소둔온도(700 ~ 800 °C 정도)에 이르며, 이 온도에서 약 100분 정도 소둔한다. 이후 단계적으로 냉각하는데, 총 300분 정도 소요된다.

또한 BAF소둔로 내부에 냉연코일을 쌓고, 질소와 수소가스를 흐르게 하며 소둔(annealing)을 진행하는데, 이때 수소가스의 농도는 5~7% 정도이다

이와 같은 소둔 공정은 제품의 종류에 따라 승온 온도와 승온 시간이 다르게 구성하기 때문에, 각 회사에 적합한 최적 소둔기술 개발은 생산성 및 경쟁력 향상을 위해 반드시 필요하다.

2.2 냉연코일 소둔공정에서 발생하는 문제점 분석

BAF공정에서 냉연강관의 응력을 제거하기 위해 시행하는 소둔공정은 냉연강판제조 진체공정의 약 50%에 해당하는 에너지를 소모하고 강관 품질에 영향을 주기 때문에, 기업의 실정에 적합한 소둔기술개발은 매우 중요하다.

즉 강관표면에서 발생하는 탄화(carbon contamination)와 황변(yellow color) 현상은 분위기가스 성분의 영향, 압연유의 특성 및 소둔패턴의 변화에 의해 발생하기 때문이다.[7]

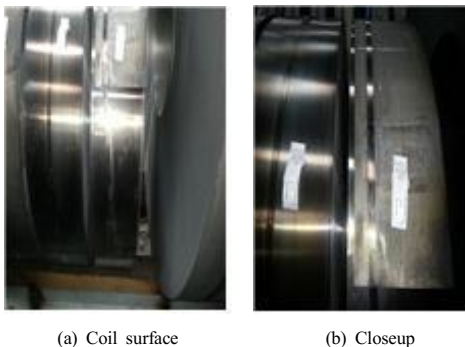


Fig. 2. Coil surface state after annealing

특히 강관표면의 탄화현상은 분체도장을 하거나, 도

금을 할 때, 냉연제품의 가공 상태를 나쁘게 하므로, 시급히 원인을 규명할 필요성이 있다.

Fig. 2는 현장소둔공정에서 나타나는 탄화현상을 조사하기 위한 것이다.

Fig. 2는 국내 중소기업에서 소둔한 냉연코일의 표면 상태를 나타낸 것으로, 표면이 현저히 탄화되어 있는 것을 볼 수 있다.

현재 BAF를 사용하는 대부분의 중소기업에서 소둔한 코일의 상태는 Fig. 2와 같은 현상이 일어나고 있어, 냉연제품의 품질 저하와 생산효율이 낮은 원인이 되고 있다.

즉 2차 냉연강관가공공정에서 일어나는 냉연코일의 탄화현상 저감에 관한 기술이 없어, 대부분 기업은 탄화가 심하게 일어난 부분은 잘라내어 제품을 생산하고 있는 실정이다.

3. 실험방법

3.1 압연 중의 탄화물질 함량 및 특성분석

냉연공장에서는 원활한 압연을 위해 압연유를 사용하고 있는데, 현재 현장에서는 신유(新油)를 보충하면서, 열화된 압연유는 제거하고 있다.

즉 냉간압연 중에 고압과 고온에 의해 압연유가 지속적으로 열화되어 미세한 입자 형태의 탄화물질로 변화하는데, 현장에서는 이를 필터를 통해 제거하고 있다.

현장 압연유를 채취하여 탄화물질 함량을 분석한 결과, 약 40 ppm정도 포함되어 있는 것으로 나타났다.

본 연구에서는 미제거(未除去)된 압연유가 냉연강관에 코팅되어 소둔공정에서 탄화원인물질로 작용하는 것으로 추정하였고, 이를 위해 소둔 전(前)과 후(後)의 강관의 표면을 SEM으로 분석하였다.

SEM 분석을 위해, 신유(新油) 또는 탄화(炭化)된 압연유가 묻은 냉연강관을 채취하여 강관의 표면 분석을 실시하였다.

즉, 압연유가 코팅된 냉연강관을 SEM(Scanning electron microscope, 제작사: JEOL, model: JSM 5410LV) 사진을 통해 그 특성을 비교하였다.

압연유의 탄화는 열변성(熱變性)에 의해 나타나는 것으로 판단된다.

따라서 신유를 둥근 플라스크에 넣은 후 천천히 가열

시켜 열변성을 관찰하였다.

즉 온도계를 장착한 2구 둥근 플라스크에 신유를 넣은 다음, heating mantle로 가열하였다.

한편 압연유의 변성 특성을 고찰하기 위해 FT-IR Spectrometer(제조사 : JASCO, 모델명 : FT/IR-620)로 압연유의 열변성 전·후(前·後)의 특성(特性) peak 변화를 조사하였다.

3.2 냉연강판에서 압연유의 탄화현상 분석을 위한 test rig 제작

소둔공정에서 발생하는 탄화현상 저감연구를 위해서, simulation 장치를 제작하였다.

즉 소둔 온도패턴(pattern)과 분위기 가스를 변화시켜 다양한 소둔조건에서 실험을 수행하기 위해, Fig. 3과 같은 장치를 제작하였다.



Fig. 3. Test Rig for testing of Annealing conditions.

Fig. 3의 simulation 장치는 현장 소둔로의 분위기 가스 농도조건인, 수소 1 ~ 10 %, 질소 50 ~ 100 %로 할 수 있게 하고, 최고 소둔온도는 800℃까지 가능하게 하였다.

또한 다양한 소둔로 온도의 승온 및 냉각 pattern을 program에 의한 자동조정이 가능하게 하였다.

Fig. 3에 나타난 simulation 장치 본체 외형은 400(W) x 340(D) x 625(H)으로 하였고, 소둔로는 Tube Type으로 $\varnothing 80(\text{OD}) \times 800(\text{L})$ 으로 제작하였다.

소둔 simulation 실험을 위해, 현장 소둔조건을 분석하였는데, 현장에서는 소둔을 위해 2단계 승온을 실시하고 있었다.

1차 승온은 420℃까지로, 1.75℃/분의 승온속도로 약 4시간(출발온도를 0℃라 가정) 진행하고 있었고, 그 후

420℃로 5시간 유지시켰다. 2차 승온은 680℃까지로, 0.62℃/분의 승온속도로 7시간 진행하였고, 680℃로 10시간 유지시킨 후, 냉각공정을 진행하였다.

즉, 현장조건(이하 “기존방법”)은 1차 승온은 420℃까지로, 1.75℃/분의 승온속도로 약 4시간(출발온도를 0℃라 가정) 진행하고 있었고, 그 후 420℃로 5시간 유지시킨 후, 2차 승온은 680℃까지로, 0.62℃/분의 승온속도로 7시간 진행하였고, 680℃로 1시간 유지시킨 후, 자연냉각하여 시편을 준비하였다.

본 연구의 실험은 지금까지 확보된 실험을 바탕으로 진행하였다.

4. 결과 및 고찰

4.1 현장 압연유 사용에 따른 영향 조사

대부분의 기업에서는 냉간압연 후, 이어서 소둔을 실시하는데, 이때 냉간공정에서 사용된 압연유가 냉연강판에 coating되어 소둔공정으로 들어간다.

따라서 코팅된 압연유가 소둔공정에서 탄화에 영향을 미칠 것으로 추정되는데, 현재까지 냉간압연유가 소둔에 미치는 영향에 대한 연구가 거의 없는 실정이다.[8-11]

Fig. 4는 소둔공정에서 강판에 코팅된 압연유의 거동을 조사하기 위해 실시한 실험결과이다.

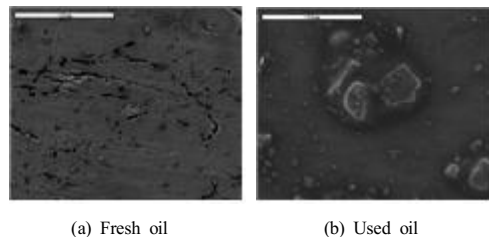


Fig. 4. When using fresh and field-use rolling oil, the surface state of the cold-rolled steel sheet after annealing (scale bar:50 μm).

Fig. 4는 신유와 현장에서일정기간 사용한 압연유를 코팅한 냉연강판의 SEM사진이다.

신유의 경우에는 냉연강판표면에 탄화된 탄소덩어리가 관측되지 않았으나, 현장사용 압연유를 코팅한 경우에는 탄화된 탄소덩어리가 관측되었다.

이것은 현장사용 압연유 중의 탄화물질이 고온의 소

둔조건에서도 분해되지 않은 것을 나타낸 것이다.

따라서, 압연공정에서 일어나는 압연유의 열변성이 소둔공정에서 일어나는 탄화 현상에 큰 영향을 미치는 것으로 판단된다.

4.2 압연유의 열변성

냉간압연공정에서 강관에 코팅된 압연유는 강한 압력을 받는데, 이때 압하(壓下) 압력(壓力)에 의해 열이 발생할 것으로 추정되므로, 압연유를 장시간 사용하면, 압하열(壓下熱)에 의해 압연유의 변성이 나타날 것으로 사료된다.[12-14]

현장에서 탄화현상이 나타나는 것은 압연유의 열적 변성, 즉 열화 때문이라 생각되어, Fig. 5와 같은 실험을 실시하였다.

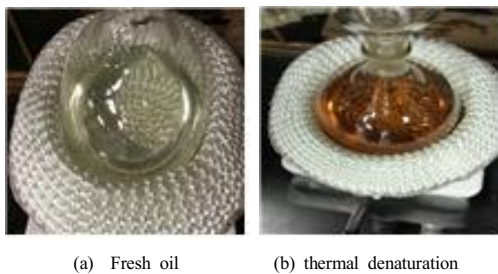


Fig. 5. Comparing the color of fresh oil and denatured oils by heating.

Fig. 5에서, (a)는 새로운 압연유를 나타내고, (b)는 300℃에서 1시간 가열한 후의 압연유를 나타낸 것이다.

압연유를 가열할 경우, (b)와 같이 열변성이 일어나는 것을 알 수 있다.

압연유의 열변성이 일어나는 온도를 조사하기 위해, 온도별 열변성 실험을 실시하였고, 그 결과를 Fig. 6에 나타내었다.

현장과 유사한 조건에서 온도에 따른 열변성을 관찰하기 위해, 상온에서 0.27℃/min으로 압연유를 승온시켜, 압연유의 색 변화를 관찰하였다.

압연유의 색 변화는 Fig. 6에 나타낸 바와 같이 218℃에서 시작되었고, 30분 마다 관찰한 결과, 압연유의 색이 점점 더 짙어지는 것을 관찰할 수 있었다.

따라서 압연유는 220℃ 부근에서 열변성이 일어나고, 온도가 올라갈수록 열변성이 더욱 진행 되는 것으로 나타났다.



Fig. 6. Thermal denaturation of Rolling Oil depend on temperature.

압연유의 열변성에 따른 특성을 비교분석하기 위해 실험한 결과는 Fig. 7에 나타내었다.

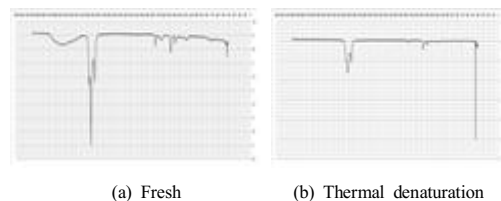


Fig. 7. FT-IR analysis results of new oil and thermal denatured rolling oil

현재 상용화 되어 있는 냉간압연유의 종류는 크게 광유, 유지, 합성유 등으로 분류된다.

이 중 광유는 C_nH_{2n+2} (파라핀, 나프탈렌, 아로마틱 계)로 이루어져 있고, 유지는 $C_{18}H_{35}(COOR)_3$ 로 되어 있으며, 합성유는 RCOOR의 특징기를 갖는 것으로 보고되어져 있다.[15]

즉 압연유는 많은 CH와 CO 기를 갖고 있는데, 이들 특징기들은 열변성에 의해 변화될 것으로 추정되기 때문에, 압연유의 특징기 변화를 FT-IR로 조사하면, 열변성을 확인할 수 있을 것으로 판단하였다.

Fig. 7에서, (a) Fresh(신유)의 2950, 2900 및 2850 cm^{-1} peak들은 Alkyl기의 C-H stretching으로, 비교적 강하게 나타나고 있고, 1750 cm^{-1} 에서 나타난 peak는 C=O(Ester 등)의 stretching이고, 1450 cm^{-1} peak는 alkane(Methyl, methylene 등)의 C-H bending이며, 1380 cm^{-1} peak는 alkane의 bending으로 사료되며, 비교적 약하게 나타났다.

(b)는 신유를 300℃에서 1시간 가열하여 열변성이 일어난 후, 나타낸 압연유의 FT-IR 그래프이다.

(a)와 (b)를 비교하면, 피크 강도가 크게 감소하는 것

을 알 수 있는데, 이는 C-H기와 C=O기와 같은 압연유의 특성기들이 열변성에 의해 파괴되었기 때문으로 판단된다.

즉 현장에서 재사용하는 횡수가 증가하면, 압연유가 점차 열변성되어 탄화된 덩어리로 변화하기 때문에, 이것이 소둔공정에서 나타나는 탄화 현상의 원인으로 사료된다.

4.3 Test Rig를 이용한 표면 특성 분석

소둔공정에서 일어나는 냉연강관표면의 탄화현상을 조사하기 위해 Test Rig를 이용한 소둔실험을 실시하였다.

소둔을 위해 현장에서는 96 % 질소와 4 ~ 6 %의 수소로 구성된 분위기 가스를 사용하는데, 본 연구에서는 질소 95%와 5%수소로 구성된 분위기 가스를 사용하였다.

그리고 압연유의 온도에 따른 열변성 실험은 다음과 같이 실시하였다.

압연유의 열변성 실험결과로부터, 압연유는 대체로 220 ℃ 부근에서 탄화가 시작되는 것으로 조사되었기 때문에, 220℃ 보다 낮은 온도에서 소둔할 경우 압연유의 열변성이 없을 것으로 판단하였고, 열변성이 나타나지 않으면 탄화현상이 나타나지 않을 것이라 사료되어, 200℃에서 탄화실험을 실시하였으며, 실험결과는 Fig. 8에 나타내었다.

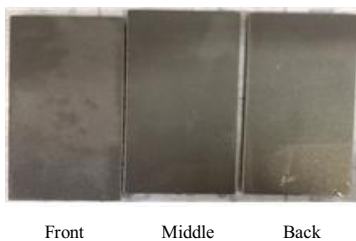


Fig. 8. Surface condition of specimen after annealing at 200 ℃.

Fig. 8의 실험결과는 시편을 Test Rig에 삽입한 후, 상온에서 200 ℃까지 7℃/min로 승온하고, 200℃에서 1시간 소둔한 후 자연 냉각시킨 후 도출한 것이다.

Fig. 8에서, 앞면, 중간, 뒷면으로 시편을 나타낸 것은, 현장 소둔환경을 simulation하기 위한 것이다.

즉, 앞면과 뒷면은 분위기 가스와 직접 접촉하는 면이

고, 중간은 앞·뒤 시편 사이에 있어, 분위기 가스와 직접 접촉하지 않은 것을 나타낸다. 이 부분은 코일의 속 부분을 나타낸 것이다.

Fig. 8에서, 시편의 겉(아래, 위)과 속(겹쳐진 시편)의 표면 상태에 대한 변화가 없는 것으로부터, 압연유의 열변성(熱變性)은 없는 것으로 판단하였다.

그러나, 시편무게 변화를 측정하여 분석한 결과, 약 99 %의 압연유가 소둔과정에서 휘발되는 것으로 나타나, 비록 저온 소둔이라도 신유인 경우에는 대부분의 압연유가 소둔과정에서 제거되는 것으로 나타났다.

현장과 유사한 소둔온도에서 일어나는 탄화현상을 관찰하기 위한 실험을 실시하였고, 그 결과를 Fig. 9에 나타내었다.



Fig. 9. Surface condition of specimen after annealing at 700 ℃.

Fig. 9는 소둔온도를 현장조건과 유사한 700 ℃로 하였을 때, 시편의 표면에서 나타나는 탄화 현상을 나타낸 것이다.

소둔조건은 상온에서 700℃까지 7℃/min로 승온하고, 700℃에서 1시간 소둔한 후 자연 냉각하였고, 시편은 5장을 겹쳐 사용하였다. 이때 시편을 5개 겹쳐 사용한 것은 현장 코일을 simulation하기 위한 것이다.

즉, 앞과 뒤의 시편은 분위기 가스와 직접 접촉하는 부분이며, 내부 3개의 시편은 코일의 속을 simulation한 것이다.

Fig. 9에서 직접 분위기 가스와 접촉하는 앞면과 뒷면

에서는 탄화현상이 심하게 일어나는 것을 관찰할 수 있었으나, 내부에 적치된 시편에서는 탄화 현상이 적게 일어나는 것으로 나타났다.

이것은, 표면에 코팅된 압연유는 서서히 열변성이 일어나는 반면, 적치된 시편은 강관을 통해 열이 빠르게 전달되기 때문에 사료된다.

즉, 내부에 적치된 시편은 변성 전에 압연유의 증발에 의한 제거가 촉진되기 때문에 사료된다.

또한, 내부에 적치된 시편 중, 왼편은 압연유가 비교적 고르게 코팅된 경우고, 중간은 압연유가 과량으로 코팅된 경우이며, 오른쪽은 중간과 겹친 것으로, 고르게 얇게 코팅된 부분에서 압연유의 탄화 현상은 거의 일어나지 않는 반면, 압연유가 많이 코팅되면 탄화가 많이 일어나는 것을 알 수 있다.

즉, 압연유가 얇고, 강관 표면에 고르게 코팅될 경우에는 탄화현상이 더욱 적어지기 때문에, 소둔 공정 앞부분에 압연유의 코팅을 얇게, 고르게 하는 장치가 도입될 필요성이 있다고 사료된다.

따라서 분위기가스와 직접접촉을 줄이고, 이와 같은 현상을 고려한 장치를 개발할 경우, 분위기 가스에 의한 탄화를 크게 저감할 수 있을 것으로 사료된다.

5. 결론

기술개발 여건이 열악한 중소기업에서 일어나는 소둔 공정의 냉연코일 탄화 현상은 제품의 품질과 생산성 저하를 초래하고 있다.

냉연강관의 표면 불량 원인 규명을 위해 수행한 연구 결과, 다음과 같은 결과를 도출하였다.

첫째, 현장에 사용하고 있는 압연유 중의 탄화물질을 분석한 결과 약 40 ppm 정도의 탄화물이 함유되어 있음을 알 수 있었다.

둘째, 소둔 전 냉연강관을 채취하여 SEM으로 분석한 결과, 시편 표면에서 탄화현상을 일으키는 탄화물이 존재하는 것을 확인할 수 있었다.

셋째, 압연유의 열변성 특성을 비교분석하기 위해 FT-IR 분석을 추진한 결과, 2900 cm^{-1} 에서 C-H peak를, 1750 cm^{-1} 에서 C=O peak를 관찰할 수 있었고, 이것들은 열변성 후, 크게 감소하는 것으로 나타났는데, 이것으로부터 압연유의 열변성을 입증할 수 있었다.

넷째 압연유의 열변성은 218 $^{\circ}\text{C}$ 에서 시작되었고, 온도가 올라갈수록 탄화에 의해 색이 짙어 지는 것을 관찰할 수 있었다.

다섯째, 압연유의 열변성보다 낮은 200 $^{\circ}\text{C}$ 에서 소둔실험을 진행한 결과, 시편의 탄화 현상은 거의 관찰되지 않았지만, 약 99 %의 압연유가 이 공정에서 휘발되는 것으로 나타났다.

여섯째, 현장의 소둔온도와 유사한 700 $^{\circ}\text{C}$ 에서 소둔실험을 진행한 결과, 시편의 탄화 현상이 현장처럼 강하게 일어나는 것을 관찰 할 수 있었다. 그러나 이 현상은 분위기 가스와 직접 접촉하는 시편의 표면에서만 일어나고, 내부에 적치된 시편에서는 탄화 현상이 약하게 일어나는 것으로 나타났다. 또한 압연유가 얇고, 강관 표면에 고르게 코팅될 경우에는 탄화현상이 더욱 적어지는 것으로 나타났다.

이상의 결과로부터, 압연유 중의 탄화물을 제거하고, 압연 후 소둔공정으로 가기 전에 냉연강관 표면에 흡착된 압연유를 최대한 제거하면, 냉연코일의 탄화현상을 저감할 수 있을 것으로 판단되었다.

또한, 분위기가스와 직접 접촉을 피하기 위한 장치를 개발하여 도입할 경우, 소둔공정에서 압연유의 탄화를 저감할 수 있을 것으로 사료되었다.

References

- [1] Hana Financial Management Research Institute, "Analysis on Changing Environment and The Credit Risk of Domestic Small to Medium Sized Steel Companies", *Industrial Research Series*, no. 21, pp. 3-8, July, 2009.
- [2] C. J. Hwan, "Development Trend of High Strength Cold Rolled Steel Sheet for Automobiles", *Korean Journal of Metals and Materials*, vol. 26, no. 10, pp. 999-1004, 1988.
- [3] Small and Medium Business Administration, "2013 SME Technology Roadmap", pp. 80-98, 2013
- [4] N. H. Yoon, "Practical Steel and H S Classification", Pohang Customs, pp. 71-73, 2006.
- [5] NICE, "2010 Industry Risking Rating", pp. 4-5, 2010.
- [6] Y. C. Chun, S. K. Kim, "A Study on the Temperature Variation of Coil in BAF Annealing in HNx Atmospheric Gas", *Symposium of the Korean Society of Mechanical Engineers*, vol. 18, no. 5, pp. 1227-1234, 1994.
- [7] S. Y. Han, K. B. Song, J. J. Yi, "Developed functional rolling oil for cold rolled steel sheet", Korean Society of

- Automotive Engineers“ 1997 Spring Conference, pp. 656-657, 1997.
- [8] K. B. Song, “Recent trends of water-soluble rolling oil for cold-rolled steel sheets”, *Journal of the Korean Tribology Society*, vol. 12, no. 4, pp. 4, 1996.
- [9] J. T. Kim, 2 others, “Influence of temperature and additives for surface cleanliness of cold-rolled steel sheet”, Conference Papers of 2000 KICHe Fall Meeting, pp. 57-58, 2000.
- [10] J. K. Cheon, Y. D. Kim, “A study on the cleaning effect of degreasing solution for cold-rolled steel sheet”, *Journal of Pusan University*, vol. 2, no. 2, pp. 335-337, 1997.
- [11] K. B. Song, “Recent trends of water-soluble cold rolling oil for steel”, *Journal of the Korean Tribology Society*, vol. 12, no. 4, pp. 6, 1996.
- [12] S. K. Kim, 2 others, “A Study on the Formability Change Due to Annealing Methods of Steel Sheet for Automobile”, Conference Papers of 1997 KSPE Fall Meeting, pp. 629-632, 1997.
- [13] S. K. Kim, 2 others, “A Study on the Formability Change Due to Annealing Methods of Steel Sheet for Automobile”, Conference Papers of 1996 KSPE Fall Meeting, pp. 560-564, 1996.
- [14] S. Y. Han, 2 others, “Development of rolling oil for lubricity and cleanliness of rolling mill”, *Journal of the Korean Tribology Society*, vol. 13, no. 2, pp. 74-81, 1997.
- [15] K. B. Song, “Recent trends of water-soluble cold rolling oil for steel”, *Journal of the Korean Tribology Society*, vol. 12, no. 4, pp. 4, 1996.

이 종렬(Jong-Lyul Lee)

[정회원]



- 1900년 2월 : 경북대학교 경북대학원 응용화학과 (공학석사)
- 2002년 2월 : 경북대학교 경북대학원 공업화학과 (공학박사)
- 1982년 3월 ~ 2006년 6월 : POSCO, RIST 책임연구원
- 2006년 6월 ~ 2011년 3월 : 현대제철(주) 환경에너지센터장

• 2011년 6월 ~ 2013년 2월 : 한국산업단지공단 대경권 EIP 총괄단장

• 2013년 3월 ~ 현재 : 계명대학교 화학공학과 조교수

<관심분야>

폐기물처리 및 재활용, 에너지 및 CO₂ 저감