

산화피막 저감을 위한 열처리 기술에 관한 연구

구희준, 정찬교

수원대학교 환경청정기술연구센터

(1998년 12월 1일 접수, 1999년 1월 8일 채택)

A Study on the Heat Treatment Technology for Reduction of Oxidation Scales

Hee Jun Koo, Chan Kyo Chung

Center for Environmental and Clean Technology, The University of Suwon

요 약

열처리시 대부분 연소로의 경우는 대기중에서 열처리되기 때문에 표면에 산화피막이 형성된다. 그러므로 이의 제거를 위해 샷블라스트(Shot blasting) 같은 연마와 산세공정이 추가되므로 공정소요 시간이 오래 걸리고 연마분진으로 인한 작업장의 환경악화는 물론 제품의 형상이 복잡하거나, 강관의 내면은 처리가 더욱 어려워진다. 그러므로 본 연구에서는 연소로 내부에 고온 내구성을 지닌 강재로 내부로를 제작하고 내부 분위기를 불활성분위기로 조절하여 산화피막의 형성을 저감시키기 위하여 연구하였다. 전기로에서 실험된 시편의 SEM, EPMA, EDX의 분석결과 산화피막이 저감됨을 알 수 있었고, 또한 진공로와의 처리품질 비교에서도 진공로와 유사한 광휘성을 나타내었다. 연구결과 개선공정을 적용하기 위해 내부로는 원통형에 재질은 SBB410으로 제작하고 분위기 가스가 유입되는 가스관로는 STS310으로 하부에서 유입시키는 방식이 가장 효율적인 것으로 도출되었다. 기적용된 사업장의 절감효과를 적용한 경제성 평가에서 연간 약 4천만원 이상의 절감효과가 기대되고, 청정기술적 효과로는 열처리 이후 제품의 구조상 제거되지 못하는 산화피막에 대한 대책 수립 및 산화피막 폐기물발생 저감, 그리고 공정단축과 작업환경의 개선효과를 볼 수 있다.

ABSTRACT : Most of flame furnace with uncontrolled atmosphere forms oxidation scales in the surface during heat treatment. In this case, shot blasting and pickling are commonly used for reduction of oxidation scales. These processes have many disadvantages, such as long process time, high operating cost and environmental problems due to polishing dust, etc. Hence, this study aimed to develop the advanced heat treating equipment which could make a controlled atmosphere using a heatresisting structure into the flame furnace. The analysis result with SEM, EPMA, and EDX revealed that the amount of scales formed is much less than that with the conventional flame furnace. A brightness of the sample treated with the advanced process is similar compared to the treatment with vacuum furnace. In the present work, it was recommended that the inside structure of the furnace and gas line system could made up of SBB410 and STS310, respectively. The operating cost with the advanced heat treatment system could be reduced annually by forty million won. As a result of this study, it may be possible to reduce the oxidation scales. The fundamental information obtained in this study will be useful not only for improving the heat treatment process(reduction of shot blast and cleaning process), but for promoting the manufacture of bright products.

1. 서론

1.1 열처리 개요

열처리(熱處理, Heat Treatment)란 금속이나 합금에 여러 가지 기계적, 물리적, 화학적 성질을 개선하거나 부여시키기 위하여 가열과 냉각을 여러 형태로 조합시킨 기술이며 이러한 열처리는 금속이나 합금의 재결정, 원자의 확산 또는 상변태를 이용하는 것이다. 이러한 열처리를 수행하는 목적은 금속재료의 용도에 맞는 성질을 부여하기 위해서 행하는 것이지만 통상적으로는 금속재료의 강화, 경화 및 강인화, 응력제거가 열처리의 주된 목적이라고 생각해도 무방하다.[9,13,18]

열처리는 각종 기계 부품의 제조 공정중 필수적인 공정으로 부품에 알맞는 처리에 의해 기계의 기능 향상과 함께 수명을 연장시킬 수 있고 열처리 분야에 대한 시설투자는 다른 업종에 비해 상대적으로 시설비가 적게 들기 때문에 짧은 투자 기간으로 국제경쟁력을 갖출 수 있는 유망한 분야라고 할 수 있다. 특히 열처리 기술은 제조, 성형, 가공 등의 공정을 거쳐 생산된 제품의 성능 향상을 위해 처리하는 기술이므로 생산 공정이 아무리 훌륭하더라도 열처리 기술이 뒷받침되지 못하면 완제품으로서의 가치가 떨어지게 되므로 적은 기술 개선의 효과도 많은 산업 분야에 기여할 수 있게 된다.[6]

1.2 연구배경 및 내용

대부분의 연소로는 대기중에서 열처리되므로 산화피막이 발생하는데 이는 변태점 이상으로 가열시 더욱 급격히 증가하게 된다. 또한 그 하부에는 탈탄층이 형성되어 결정립계의 산화가 일어나는데 탈탄(decarburization)은 강의 충격 및 피로강도를 저하시키고 스케일은 열전도도가 불량하여 열처리 재료의 균일한 가열을 방해하고 담금질 균열의 원인이 된다.[6,8,12,20]

그러므로 산화피막을 제거하기 위해서는 숏블라스트 같은 연마나 산세를 필요로 하는데 이로 인하여 공정소요 시간이 오래 걸리고 연마분진 등으로 인한 작업장의 환경 악화 및 연마재 마모 및 처

리를 위하여 운전비용이 과다하게 소비된다.

또한 제품의 형상이 복잡하거나 강관 같은 경우는 관 내부의 산화피막 제거가 용이하지 않아 처리품질을 저하시킨다. 때문에 산화피막이 형성되지 않도록 광휘열처리를 수행하거나 처리가 용이하도록 제품을 열처리해야 하는데 기존의 산화피막을 저감하기 위한 공정으로 진공로나 염욕(salt bath), 분위기 가스를 통하여 노내를 불활성분위기로 조절하거나 주철칩, 스테인레스백, 포일, 특수 탄소용기 등으로 제품을 포장해서 열처리하는 기술을 이용하고 있으나 기존의 사용중인 연소로는 광휘처리를 위한 적당한 대체방법이 제시되지 못하여 기존의 공정을 염욕이나 진공로로 완전히 대체 변경하거나 연소로를 계속적으로 사용하기 위해서는 노내의 분위기를 조절하여야 하는데 이는 독일에서 적용된 사례만이 발표되었을 뿐 국내에는 적용된 사례가 없고 이에 대한 연구도 부족하기 때문에 실제 사업장에서 적용가능한 변경대상이 없었다.[1,2,3,4,5,14] 왜냐하면 연소로를 공해가 없고 비교적 안전한 진공로로 변경시에는 고가의 투자비가 요구되고 제품 단가가 낮은 제품의 경우 원가상승으로 수지타산에서의 적자문제, 그리고 황동 같은 높은 증기압을 가진 합금처리의 곤란 등으로 인한 문제가 발생하기 때문이다. 또한 연소로를 염욕으로 변경시 열처리후 염욕의 제거와 폐액처리, 염욕의 증발·발산에 의한 대기 오염 및 에너지 낭비 등으로 인하여 기술 적용성이 떨어지기 때문이다.[31] 그러므로 초기에 요구되는 투자비는 적으면서 처리제품의 품질은 진공로와 동등·우수하거나 기존의 연소로에 적용할 수 있는 청정기술적인 시스템의 개발이 요구되는 것이다.

그러므로 본 연구에서는 공정을 대체하지 않고 기존의 연소로에 간단한 내부로를 추가하여 광휘열처리가 가능하도록 열처리 시스템을 구성하는 것을 목표로 하였다. 이를 위하여 기술 개선을 위한 공정의 설비 및 제작 관련자료를 제공하고, 진공로에서 열처리된 제품과 개선기술을 도입하여 열처리된 제품간의 품질비교 및 실제 기업에서 연소로에 개선기술 도입시 기초자료가 될 수 있도록 경제성 평가를 수행함으로써 기술도입 가능성을 확립하고자 하였다.

2. 산화피막 저감형 열처리 기술

이 존재하며 이러한 화합물들은 다음의 반응들에 의하여 생성되고 기본특성은 <Table 1>과 같다.[10,19]

2.1 산화피막 특성

일반적으로 생성되는 철산화물 스케일에는 뷔스타이트(Wuestite, FeO), 마그네타이트(Magnetite, Fe₃O₄), 헤마타이트(Hematite, Fe₂O₃) 등으로 여러 상

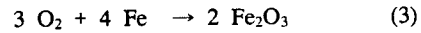
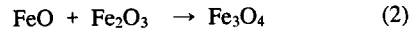
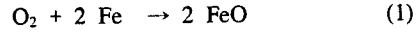


Table 1 Characteristics of the iron oxide on steel strip

Components	Chemical name	Lattice structure	Specific gravity	Melting point
α -Fe ₂ O ₃	Hematite	사방정계	5.7(g/cm ³)	1377℃
Fe ₃ O ₄	Magnetite	입방정	5.16	1538℃
FeO	Wuestite	입방정	5.1~5.2	1550℃

뷔스타이트(FeO)는 가장 낮은 산소함량을 가지고 있고 570℃ 이하에서는 불안정하다. 스케일 속에서 뷔스타이트의 함량은 온도가 증가함에 따라 더욱 커지고, 강의 온도가 700℃ 이상이 되면 뷔스타이트는 스케일 층의 약 95%를 차지한다.

마그네타이트(Fe₃O₄)는 입방정 격자구조를 가지며 스케일층에서 중간에 위치하며 강의 온도가 500℃ 이하가 되면 스케일의 대부분이 마그네타이트로 구성된다. 온도가 약 700℃ 정도로 올라감에 따라 마그네타이트가 손실되면서 뷔스타이트로 변화하고, 온도가 더 올라가면 스케일 내의 마그네타이트분율은 4%정도로 감소한다. 이 마그네타이트는 뷔스타이트보다 경하고 마모성이 좋다.

헤마타이트(Fe₂O₃)는 α -Fe₂O₃와 γ -Fe₂O₃중 산소이온이 약간 모자란 Fe₂O₃의 α 형태로서 약 800℃의 온도에서 형성된다. 온도가 더 올라가게 되면 생성되는 스케일의 약 1%를 차지하고 마그네타이트와 비슷한 경도와 마모성을 갖는다.[22]

Fig. 1에 탄소강위에 형성되는 다양한 스케일층을 나타내었는데 이 산화물들은 르샤틀리에의 원리에 따라 가장 낮은 원자량을 갖는 산화물인 뷔스타이트가 금속의 가장 가까운 쪽에 헤마타이트가 대기와 접촉하는 부분에 연속층으로 생성된다.

만약 열처리가 570℃~1100℃ 사이에서 수행되고 그 후 570℃ 아래로 급속히 냉각되었다면, 급속 바로 위 표면에 FeO층이 형성된다. 이 FeO층위에 다시 Fe₃O₄층과 Fe₂O₃층이 차례로 생성된다. 열

처리가 570℃~1100℃ 사이에서 수행되고 그 후 570℃ 이하에서 천천히 냉각되는 경우에는 금속위에 오직 Fe₃O₄층과 Fe₂O₃층만이 존재한다. 1100℃ 이상의 온도에서 열처리후에 형성된 스케일층이 다시 급속히 냉각되게 되면 오직 FeO층과 Fe₃O₄층만이 생성된다.[32,33]

이와 같이 철 산화물은 그 안정온도가 각기 다르므로 열처리후 강의 냉각속도나 냉각온도는 스케일층의 성분조성에 영향을 미치고, 따라서 그 이후의 스케일 제거공정에도 영향을 주게 된다.

본 연구에서는 열처리 온도가 주로 600~720℃의 범위에 있으므로 헤마타이트와 마그네타이트가 형성되고 뷔스타이트는 거의 존재하지 않는다.[10]

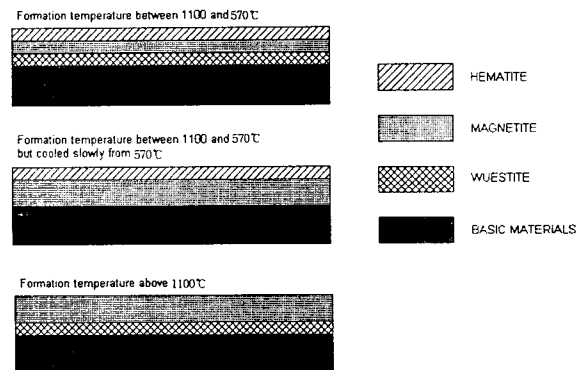


Fig. 1. Diagram of various oxide layers of scale formation on steel.

2.2 산화피막 저감형 열처리 기술

2.2.1 개선 공정의 원리

산화피막 저감형 열처리 기술을 적용한 사업장은 독일의 Krauss-Maffei Gie technik GmbH 회사로 연마 작업시 발생하는 연마분진으로 작업환경이 악화되고 연마재의 마모로 경제성이 문제시 되어 열처리로내에 1050℃에 달하는 고온에 대하여 내구성을 지닌 강재로 별도의 구조물을 제작하여 구조물내에 불활성 분위기를 형성하였는데 이러한 분위기 구조물의 사양은 지름 5.5m에 높이가 3.5m 이고 membrane형 바닥구조, 덮개 및 바닥체 밀봉구조로 구성되어 있다.

적용된 기술은 가스로내의 1,000℃ 고온하에서 장시간에 걸친 열처리와 전기로의 일반적인 대기조건하에서의 열처리시 크롬을 함유한 산화피막이 형성되었으나 전기로내 불활성 분위기 가스를 주입하여 열처리시 급속 공기 냉각(fan 이용)을 시키기 않는 경우에는 시편의 색도만 다소 변화하였고 동일 조건하에서 송풍기를 이용한 급속 공기냉각시에는 산화피막(96% 이상 Fe₃O₄)이 형성되나 비교적 고착 정도가 약하고 일반 대기조건하에서의 양보다 90%가 저감된 산화피막만이 발생되었다. 또한 분진 발생의 50~60% 저감, 조업시간이 1/3로 단축, 운전물질의 40~50% 저감, 폐기물의 90% 저감 등으로 인하여 투자회수 기간이 3.4년으로 산출되었다.[24]

2.2.2 개선기술 적용대상 사업장의 개요

개선기술 적용대상 사업장은 보일러 내압부의 Drum, Panel, 강관 등을 열처리하는 회사로 강의 연화작용 및 결정조직을 균일화하고 내부응력을 제거하며 온도에따라 기계적, 물리적 성질을 변화시키기 위해 열처리를 수행한다. 특히 사업장의 특성상 열처리되는 제품의 대부분이 강관으로 높이보다

는 길이가 길어 열처리로의 길이가 21m로 상당히 길다. 열처리로의 재질은 철구조물로 내화벽돌과 석면으로 덮혀있고 로의 크기는 유효사용 Size로 길이 21m×폭 6.5m×높이 7m이며 제품의 투입 및 배출은 제품의 특성에 따라 차이가 있지만 통상 1회에 30톤을 터널식으로 대차를 이용하여 투입 및 배출한다.

후처리 공정으로 표면에 산화피막, 이물질, 유지성분을 제거하기 위하여 구조물내에서 압축 공기를 이용하여 강구(Shot ball)를 표면에 분사하여 제거하고 내면은 Chemicoat #303과 물을 1:3으로 희석하여 산세를 통하여 제거한다. 사업장에서 발생하는 폐기물은 노벽에 Sealing된 미세한 석면 분진, 대차 표면 제품 상·하차시 파손 및 노후된 내화벽돌의 파손 폐기물, 산화스케일 등으로 인한 폐기물과 집진기의 분진 및 폐 강구, 폐작업복 보호구 등으로 인한 폐기물이 발생하여 폐작업복 보호구는 자체 소각 처리하고 분진 및 폐 강구는 위탁처리한다.

3. 실험 및 결과

3.1 실험방법

실험재료는 연소로에서 열처리되는 ASTM (American Society for Testing and Materials, 미국재료시험협회) A210 강관과 진공로에서 열처리되는 ASTM A286 합금으로 강관의 경우는 제품의 외면 및 내면에 고착되는 산화피막의 영향을 관찰하고 A286 합금의 경우는 판형이 아니라 25mm×76mm의 판형으로 진공로에서 열처리된 제품과의 품질 및 부하비교를 위해 실험하였다.

3.1.1 실험재료

실험재료인 ASTM A210 강관과 A286합금의 화학적 조성은 다음과 같다.

Table 2. A chemical composition of A210 steel

	C	Si	Mn	P	S	Al	Fe
min.		0.1					
max.	0.3		1.35	0.04	0.04	0.03	balance

Table 3. A chemical composition of A286 alloy

항목	합량(%)	항목	합량(%)
C	0.08 max	B	0.003~0.008
Mg	0.35 max	Ti	1.9~2.35
Si	0.3 max	V	0.1~0.5
Cr	13.5~16	Al	0.35 max
Ni	24~27	S	0.01 max
Fe	48.5~	Mo	1~1.5
		P	0.02

3.1.2 실험장치 및 온도변화

본 실험을 위하여 분위기 조절이 용이하며 1500℃까지 승온가능한 전기로를 사용하였다.

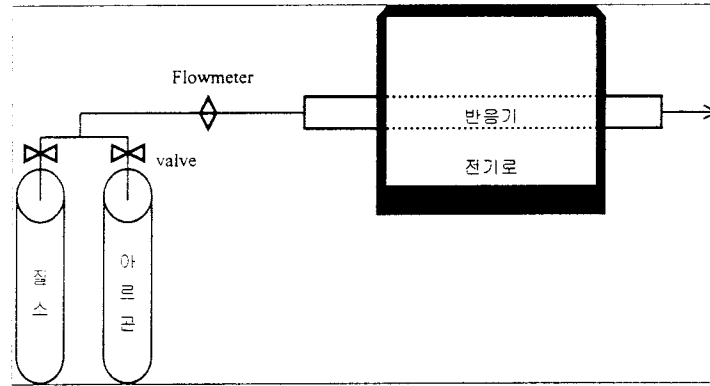


Fig. 2. A schematic diagram of experimental apparatus of heat treatment.

실험된 A210 재료는 외경이 38mm이고 내경이 30mm으로 두께는 4mm인 강관으로 열처리 기준은 관의 두께(t=thickness)에 따라 로내의 체류 시간과 가열과 냉각기준이 결정되어 이에 따라

계산된 결과는 다음의 그림과 같다. 또한 진공로에서 처리되는 제품인 A286 합금은 고온 내식성 재질로 냉각시 공기로 냉각하고 이 재료도 마찬가지로 다음과 같이 승온 및 냉각한다.

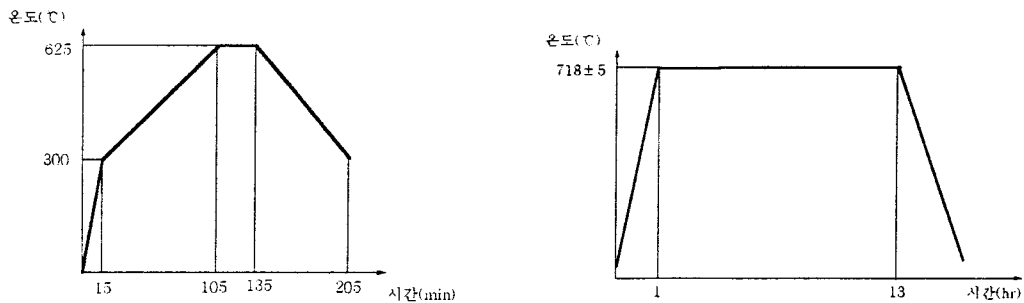


Fig. 3. A heat treating cycles of the A210 and A286.

3.1.3 분위기 조절

불활성 가스들은 다른 물질과 산화나 환원등의 반응이 일어나지 않는 가스의 총칭으로서 아르곤가스, 헬륨가스 등이 있다. 질소가스는 활성금속(Ti 등)과 반응하여 질화물을 형성하므로 불활성은 아니지만 강과는 거의 반응을 일으키지 않으므로 여기에서는 불활성으로 취급하였으나 A286합금의 경우는 반응하여 질화물을 형성하므로 아르곤가스를 이용하여 불활성 분위기로 조절하였다.[7,15,17] 가스의 순도에서 문제가 되는 것은 불순물로서 산소, 수분, 이산화탄소 등이 있다. 고순도인 아르곤이나 헬륨중에 산소의 양은 1~2ppm, 수분의 양은 노점 -70℃이하로 일정하지만 질소의 경우는 광범위한 값을 가지고 있으므로 특히 주의할 필요가 있다. 가스통에 들어있는 질소는 99.99%이상의 고순도를 지니고 있으나 값이 비싸므로 열처리용으로는 99.9% 정도의 공업용을 많이 사용한다. 공업용의 질소가스의 특성은 산소의 양이 특히 많다. 일반적으로 공업용 질소의 노점은 -67℃ ~ -71℃정도이고 산소의 양은 2 ~ 60ppm의 것이 많고 일부는 500ppm을 초과하는 것도 있다. 다량의 질소를 사용하는 경우에는 액체질소의 기화가스를 이용하는 것이 많은데 값이 비교적 싸고 불순물도 적기 때문에 많이 이용한다. 또한 질소가스중의 산화성 불순물의 영향을 해소하기 위하여 탄화수소계 가스 등 환원성가스를 소량첨가한 질소 분위기가 이용되기도 하는데[16] 본 연구에서는 공업용 질소가스 구입이 어려워 99.99% 이상의 비교적 고순도의 질소가스로 실험하였다. 그 외에 분위기로 공기를 주입하거나 또한 질소를 주입한 시편은 최고온도 유지 후 노에 송풍기를 통하여 급속 냉각시키거나 자연 냉각(로냉) 등 여러 조건하에서 실험하였다.

3.2 실험결과

3.2.1 SEM(Scanning Electron Microscope)

본 실험은 열처리된 재료 단층의 입체적인 형상을 관찰하여 표면산화의 영향을 파악하고 적용대상 사업장에서 열처리된 제품과 실험된 열처리와의 품질을 비교하기 위하여 촬영하였다.

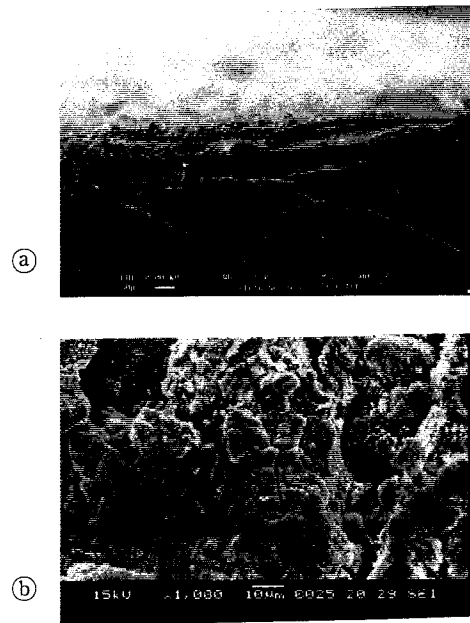


Fig. 4. SEM of the A210 under the atmosphere of nitrogen(a) and uncontrolled atmosphere at plant(b).

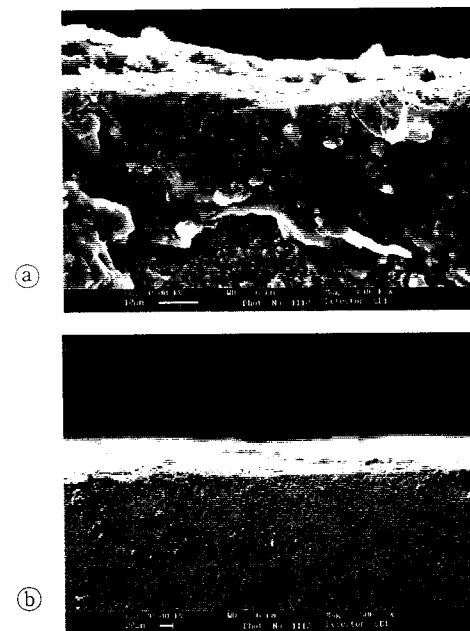


Fig. 5. SEM of the A286 under the atmosphere of air(a) and the atmosphere of argon(b).

각 시편의 SEM 촬영결과 A210 강관의 경우는 질소가스로 분위기 조성시 산화피막의 생성량이 현저하게 저감됨을 시각적으로 확인할 수 있었고 특히 내면의 경우 그 양상이 더욱 뚜렷하였다.

A286합금의 경우는 강관과는 달리 열처리된 제품을 육안으로 관찰시에는 처리제품의 산화정도가 거의 구별되지 않았으나 SEM을 이용하여 촬영시 산화피막의 발생량이 현저하게 차이남을 관찰할 수 있었다. 이 경우 공기를 주입시 열처리 특성상 최고온도에서 유지시간이 12시간으로 길기 때문에 산화가 많이 발생함을 알 수 있었다. 그러므로 이 제품의 경우는 일반 대기조건에서는 열처리가 거의 불가능 할 것으로 판단되어 진공로나 분위기조절을 통하여 열처리를 수행하는 것이 가장 적합할 것이다.

3.2.2 EPMA와 EDX

실험된 시편의 정성 및 정량분석을 위해서 EPMA(Electron Probe Micro-Analysis)로 분석하였는데 EPMA는 감도가 좋아 시편의 표면에 1 μ m이상의 굴곡이 없이 깨끗하면 오차가 거의 없이 정확하게 정량화를 할 수 있으나 굴곡이 심하거나 높이가 차이가 많이 나는 경우에는 오히려 오차가 더 심하게 나타날 수 있다. 본 연구에서 A286합금의 경우는 광휘 열처리가 되었으므로 괜찮으나 A210의 경우는 표면이 깨끗하지 않아 EPMA로 분석하기 위해서는 시료의 전처리(Polishing)가 필요하다. 그런데 시편을 연마하게 되면 고착된 산화피막이 파괴되므로 전처리를 수행하지 않고 분석을 하였으나 EPMA만의 고감도의 분석결과를 얻기는 어려우므로 EDX (Energy Dispersive X-ray Spectrometer)도 같이 관찰하였다. 왜냐하면 EDX는 빠른 시간내에 전체적인 성분의 정성 및 정량분석이 가능하여 넓은 범위를 포함할 수 있으므로 이 경우에는 오차의 한계가 더 적어진다고 할 수 있다. 그 결과로 EPMA의 분석반경이 5 μ m인

데 비하여 EDX의 분석크기는 128 μ m \times 84 μ m로 넓은 범위를 분석하였는데 EPMA 분석시 전체 중량%가 100%이상 검출되어 실제보다 많게 나온 경우도 있으나 EDX로 분석시에는 그러한 결과는 없고 분산도 EPMA보다 적은 것으로 나타났다.[21]

분석시 주요한 원소는 철과 산소로서 특히 산소의 양은 어느 정도의 산화가 이루어졌는지를 알 수 있는 지표이다. A286의 경우는 현재 진공로에서 열처리된 제품과 실험된 제품을 분석하였는데 비교결과 진공로에 비해 산화가 많이 진행되지 않았고 광휘열처리가 되었음을 알 수 있다.

3.2.3 고찰

본 실험에서 A210강관의 열처리시 분위기 가스로 순도가 낮은 99.9%의 공업용 질소를 사용하여 분위기가 형성되어야 하나 순도 99.993%의 질소가스가 사용되어 실제 연소로에서의 열처리시 산화피막의 영향이 더 많게 나올 것으로 예상된다. A210강관의 경우는 외면의 산화피막의 저감은 상당히 많은 것으로 분석되었으나 내면의 경우는 그 저감정도가 외면에 비해서 많지 않았는데 그 이유는 반응기의 내경이 45mm로 피열처리의 외경이 40mm인데 대하여 거의 꼭 차는 듯한 영향을 받았기 때문에 열처리시 외면보다는 내면에 산화피막이 고착하기 쉬웠을 것으로 예상된다. 이러한 결과는 내부 용적이 큰 박스형 전기로와 튜브 전기로에서 열처리된 시편의 비교로 알 수 있었는데 박스형 전기로에서 열처리시 내면보다는 외면에 산화피막이 더욱 많이 고착되었다. 그러므로 실제 열처리시 유효가열대를 노크기의 약 80%로 산정하므로 고착

Table 4. A Result of the EDX analysis data of A210

(단위 : weight %)

	Fe	O	Total
질소분위기	78.43	13.57	91.99
	79.08	15.24	94.32
	80.73	12.27	93.0
	73.84	15.77	89.61
사업장시편	57.71	16.88	74.60
	66.01	23.22	89.22
	62.61	19.04	81.65
	60.52	19.94	80.47

Table 5. A Result of the EPMA analysis of the A210 and A286

시편	A210 내면의 weight %		
	Fe	O	Total
질소분위기	79.090	18.903	97.993
	75.414	20.317	95.731
	78.211	22.170	100.381
사업장시편 (연소로)	68.407	32.617	101.024
	70.368	28.232	98.6
	70.024	27.270	97.294
시편	A210 외면의 weight %		
질소분위기	86.833	10.760	97.593
	96.530	3.801	100.331
	97.420	8.148	105.568
사업장시편 (연소로)	65.274	29.362	94.636
	66.056	29.062	95.118
	67.220	28.965	96.185
시편	A286 합금의 weight %		
아르곤 분위기	51.494	2.031	53.525
	53.001	2.880	55.881
	47.082	1.846	48.928
	52.988	1.810	54.798
	55.868	2.917	58.785
	56.468	3.084	59.552
사업장시편 (진공로)	51.169	4.296	55.465
	50.637	3.392	54.029
	47.663	4.051	51.714
	55.776	1.447	57.223
	52.453	2.330	54.783
	48.996	1.648	50.644

되는 강관내면의 산화피막은 더 적을 것으로 예상된다. 또한 질화의 영향을 알기 위해 질소도 같이 분석을 하였으나 전체적으로 질소는 전혀 검출되지 않았고 SEM에서도 백색층이 관찰되지 않는 것으로 미루어 질소가스를 불활성분위기 가스로 사용하여도 질화의 영향은 없음을 알 수 있다. 결국 본 실험과 분석을 통하여 개선 공정을 적용하여 열처리시 산화피막이 저감됨을 확인할 수 있었고 진공로와 거의 유사한 광휘성을 기대할 수 있었다.

4. 개선공정의 구성 및 설비

4.1 개선 공정의 설비

본 연구에서 적용대상 공정의 열처리로가

Batch식의 대차형식이고 용적이 21m×6.5m×7m로 상당히 큰 규모이므로 적용시에는 보다 위험부담이 적은 규모의 크기에서부터 시작해야 할 것이고 이를 위해 사업장에서 열처리되는 부품중 적은 제품의 크기를 기준으로 시험설비를 제작하여야 할 것이다.

적용대상 사업장의 연소로가 사각형태로 각 면에서 화구에 의한 연소가열 방식이므로 연소로내에서 연소발열시키고 내부로내의 처리품은 방사가열 방식에 의해 승온된다. 열처리로내에 장입된 부품을 균일하게 열처리하기 위해서는 온도분포와 분위기 가스의 흐름이 균일해야 한다. 그러므로 노내의 천장, 옆, 바닥부분 등에 교반팬을 설치하지만 열원의 배치, 노의 용적, 부품의 형상과 밀도 등을 생각해서 팬의 형식과 용량을 선정한다. 연소로의

구조가 가열로와 내부로로 나누어지므로 기존의 연소는 대차형식으로 제품이 유출입되므로 내부로는 전후좌우로 움직임이 자유로울 필요가 없으므로 크레인보다는 설비비가 싸고 자동주행이 가능한 monorail hoist를 적용하여 내부로내에 제품을 유출입시킨다. 계측 및 제어기중 열처리 특성상 온도, 시간, 유량, 압력, 노점, 분위기 가스의 조절 등이 콘트롤해 주어야 되는 인자이고 특히 기존의 설비를 그대로 사용하면서 내부로만 추가되므로 이에 관계되는 온도제어와 분위기 가스제어가 중요하다. 온도제어는 시험설비(Φ5×5)의 경우는 열전대를 상부와 하부에만 설치해도 가능할 것이다.[23]

4.2 열처리로 형상 및 구조

4.2.1 노의 재질

열처리로에 사용되는 노재는 내화, 급열급냉저항(내화스폴링), 내마모, 내식성 등이 요구되나 본 기술적용 대상 사업장의 경우 열처리되는 온도가 620℃~750℃ 정도로 낮으므로 일반 강을 사용하여도 문제가 없으리라 생각되므로 SS400을 사용해도 무방하나 좀 더 높은 내열성을 위해 SBB410으로 제작하면 내구성과 열전도가 잘 되리라 예상이 된다. 그러나 로의 뒤틀림이나 균열, 형상변화를 억제하기 위하여서는 열전도는 좀 떨어지지만 캐스터블(Castable)을 덧칠함으로써 좀 더 높은 강도와 견고한 형상을 얻을 수 있을 것이다. 또한 내열강은 고온에서 화학적으로 안정하고(우수한 내산화성) 기계적으로 우수한(높은 고온강도) 특징을 갖추어야 한다. 질소가스를 로내부로 유입시키기 위한 시설은 강관을 로의 하단부에서 붙여넣어 주는 구조로 고온내열성을 지닌 STS310(S)가 내화재로서 소각로 내부와 열처리로에 많이 사용되므로 가격은 비싸지만 적당하리라고 예상된다.[30]

4.2.2 노의 구조

형상학적으로 원형이 로의 부하를 저감시키고 안정적이므로 고온에서도 오래 견딜수 있는 형상으로는 원형이 가장 적당하다고 할 수 있다. 이러한 이유외에도 경제적인 측면에서 로의 형상이 중요시 되는데 우선은 로의 형상 및 체적에 따라 불활성

분위기 가스로서 질소의 사용비가 결정되므로 중요하다고 할 수 있다. 또한 운전학적인 측면에서는 로내의 균일한 온도분포를 형성시켜 국부가열이나 저온처리되는 불량을 방지하는데에 중요하기 때문에 로의 형상은 체적과 제품 특성에 맞도록 설계되어야 한다.

이러한 가스조절을 위해 관로에는 압력계도 부착되어 노내의 압력이 조정되도록 하여야 하고 송풍기도 설치되어야 할 것이다. 그리고 사업장에 적용시키기 위해서는 여러번의 시험결과를 거쳐야 하므로 본 사업장에서 크기가 비교적 작은 제품을 대상으로 하여 보통 지름이 5m이고 높이가 5m인 정도의 크기로 제작하여 시험하는 것이 적당할 것으로 예상된다. 또 내부로가 커질 경우 유입되는 질소가스의 유입원을 더 확장해서 별도의 순환장치가 없이도 송풍기의 부하를 줄이면서 노내에 균일하게 분포하게 할 수도 있다. 이외에도 내부로의 순환촉진을 위한 교반용 송풍기 및 연소로에서 연소되는 가스의 분석 및 제어를 위해 노점계나 탄소측정을 위한 센서 등도 필요에 따라 부착해야 한다.

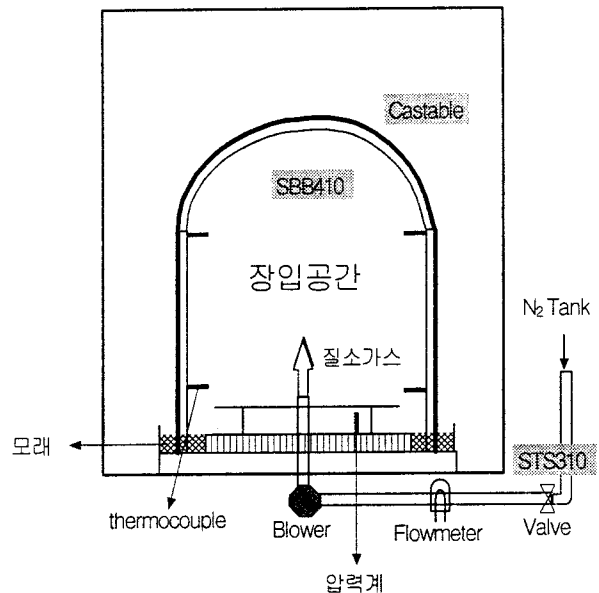


Fig. 6. Schematic Diagram of a advanced shape and structure of the furnace.

4.3 경제성 평가

열처리 비용은 일반적으로 킬로당의 단가가 많이 사용되는데 적용대상 사업장의 한달 평균 운

전일수는 25일로 열처리 시설 운전 및 처리 단가는 다음과 같다.

Table 6. Annual operating cost of the plant

항 목		현 열처리공정	비용(원/yr)
인 력	열처리에 소요 인력	0.3 man· hr/ton	18,748,800
운전비용	LNG gas	20,538 kg/mon	88,798,097
	Shot Ball	916 kg/mon	6,595,200
처리비용	분진 및 폐 shot ball	1.2 ton/mon	734,400
	폐작업복 보호구	750 kg/mon	2,906,568
	산세 약품사용	0.75 ton/mon	7,200,000
	폐수	20 ton/mon	5,451,120
Energy	소비전력(열처리로)	4,200 kwh/mon	3,119,760
	Shot Blast	112,500 kwh/mon	83,565,000
비 용 합 계			217,118,945

현공정의 운전비용과 개선공정의 운전비용을 비교하기 위해서는 먼저 개선공정을 설치하기 위한 설치비의 항목이 계산되어야 하고 실제로 시험설비를 통하여 적어도 1년정도 운전을 통하여 비용항목이 계산되어야 하지만 현실적으로 시험설비를 제작하여 운전하기에는 여러 가지 어려운 여건과 비용

문제로 불가능해서 개선공정을 제작하여 운전하여 보지 않고도 비교해보기 위해서는 기적용된 사업장의 효과를 토대로 적용시킬 수 밖에 없다. 기적용된 사업장의 경우 개선공정의 부하저감율(Krauss-Maffei社)은 다음 <Table 7>과 같이 요약할 수 있다.

Table 7. An expected reduction ratio with the advanced heat treatment

항 목		기적용사업장의 저감효과	현사업장 적용시 기대되는 저감효과
인력	열처리 소요인력	인력수요저감 30~35% 가공시간 단축 30~40%	30%
운전비용	Shot Ball	중금속함유 폐기물저감 90%	90%
처리비용	분진 및 폐 Shot Ball	중금속함유 폐기물저감 90%	90%
	폐작업복 보호구 (연마기, 연마재, 유지관리)	공구 및 운전물질 저감 40~50%	40%
	산세약품비	산세공정 제거	100%
	폐수처리비	무폐수발생	100%
Energy	Shot Blast 소비전력	연마처리시간 단축 30%	30%

물론 이외에도 기적용 사업장의 경우 분진제거장치의 운전시간이 10~20% 단축되고 작업현장의 분진발생이 50~60% 저감된 효과를 나타내나 현재의 적용대상 사업장과의 비교자료가 부족하므로 이러한 항목들은 제외하고 비교가능한 항목들에 한하여 비교하였다.

또한 개선공정에는 분위기 가스로서 질소가스가 필요하므로 사업장에서는 질소가스를 1m³당 343.75

원에 구입하므로 이러한 질소가스 구입비가 운전비용에 포함되어야 하나 그러기 위해서는 내부로의 체적이 도출되어야 한다. 그러므로 시험설비 규모인 5m의 지름에 5m의 높이를 내부로가 갖는다고 가정하면 1회의 운전에서 소모되는 질소가스의 양은 보통 유효가열대를 80%로 산정하므로[11] 다음과 같이 계산할 수 있다.

$$\text{내부로의 체적} : \frac{\pi(D^2)(h)}{4} = \frac{\pi 5^2(5)}{4} = 98.2 \text{ m}^3 \dots\dots\dots (4)$$

$$\text{연간운전비} : 343.75\text{원}/\text{m}^3 \times 98.2 \text{ m}^3 \times 0.8 \times 300\text{회}/\text{yr} = 8,101,500\text{원}/\text{yr} \dots\dots\dots (5)$$

현재의 연소로 열처리공정과 개선공정시 기대되는 운전비용을 비교시 연간 약 5천1백만원을 절감할 수 있다는 결론이 도출되었고 여기에 질소가스의 사용비가 추가되면 즉, 내부 구조물의 체적이 약 100m³일 경우 대략 질소가스로 인하여 소비되는 비용은 약 8백만원 정도이므로 이것을 개선공정의 저감비용에서 제외시키면 실질적으로 개선비용으로 인하여 얻어지는 비용저감의 효과는 연간 약 4천3백만원 정도이다.

개선기술을 적용시키기 위해서는 최종적으로 투자회수기간을 산출하여 기술도입의 타당성을 평가하여야 하는데 투자회수기간의 산출은 우선적으로 개선공정의 설치비용이 계산되어야 하나 노의 규격이 아직 정해지지 않은 상태이므로 설치비를 계산하기가 어렵다. 그러나 노의 재질과 형상이 제안된 상태이므로 사업장에서 적당한 규격이 도출된다면 그에 따른 초기투자비가 산정되어 투자회수기간을 계산할 수 있을 것이다.

Table 8. Analysis of the Total cost between the Flame furnace and Advanced furnace (단위 : 원/yr)

항 목		기존 열처리 비용	개선 열처리 비용 (절감액)
인 력	열처리에 소요 인력	18,748,800	13,124,160 (5,624,640)
운 전 비 용	LNG gas	88,798,097	88,798,097 (-)
	Shot Ball	6,595,200	659,520 (5,935,680)
처 리 비 용	분진 및 폐 shot ball	734,400	73,440 (660,960)
	폐작업복 보호구 (연마기, 연마재, 유지관리 포함)	2,906,568	1,743,940 (1,162,628)
	산세 약품비	7,200,000	0 (7,200,000)
	폐수 처리비	5,451,120	0 (5,451,120)
Energy	소비전력(열처리로)	3,119,760	3,119,760
	Shot Blast	83,565,000	58,495,500 (25,069,500)
비 용 합 계		217,118,945	166,014,417 (51,104,528)

5. 결론

본 연구에서는 일반 대기하에서 열처리되는 대부분의 연소로에서 광휘열처리가 가능하도록 공정을 개선하였고 또한 환경적으로 우수한 진공로에서 열처리되는 제품과의 품질비교에서도 거의 유사한 광휘성을 획득하여 경제적, 기술적 효과를 얻을 수 있었다. 이를 요약하면 다음과 같다.

1. 일반 연소로에 내부 구조체를 제작하여 불활성 분위기를 형성하여 열처리시 산화피막의 발생량을 저감시킴으로써 기존의 세정공정의 제거가 가능하고 연마작업의 단축과 제품의 품질향상에 기여함을 알 수 있다.

2. 진공로의 대체가능성을 평가한 결과 진공로는 초기의 투자비가 과도하게 많이 소비되나 이러한 개선공정을 도입시 열처리품에는 질저하가 우려되지 않았고 또한 진공로에 비하여 현 시설에 바로 도입이 가능하므로 광휘열처리를 위한 목적으로는 공정개선 적용성이 매우 높다.

3. 경제성 평가에서 연간 절감 비용은 약 4천 3백만원으로 도출되었다.

참고 문헌

1. 한국기계연구소, "유동상 열처리로의 국산화 연구", 과학기술처, 1988. 7.
2. 한국기계연구소, "강관 유도 광휘열처리 설비 국산화 개발", 과학기술처, 1991. 12.
3. 한국기계연구소, 진공침탄 열처리로 제작 및 진공 침탄열처리 기술개발 I, II, 과학기술처, 1991
4. 한국기계연구소, 대형기어의 침탄열처리 기술개발, 과학기술처, 1988
5. 한국기계연구소, 강관 유도 광휘열처리 설비 국산화개발, 과학기술처, 1991. 12.
6. 심향열, 박인선, 신편 열처리공학, 동명사, 1996
7. 이창희, 반봉찬, 최신 금속공학 입문, 반도출판사, 1995
8. 염영하, 염성하, 신편 기계재료학, 동명사, 1996
9. 구본권, 원시대, 기계금형재료의 열처리개론, 대광서림, 1994
10. 홍영환 역, 탄소강 열처리, 원창출판사, 1993
11. 위명용, 김경식 편저, 열처리 요점, 원창출판사, 1994
12. 김한군, 홍영환, 박상준, 노정만 공역, 열처리 가이드, 원창출판사, 1993
13. 이영배, 박정웅 공저, 『금속 열처리 원리』, 문운당, 1996
14. 김문일, 진영식 편저, "열처리 공학", 반도출판사, 1995
15. 남기우, 이인우 공역, "열처리기술시리즈10 금속조직과 결합", 원창출판사, 1991
16. 구자명, 김학윤, 이수진 공역, "열처리기술시리즈 9 시험과 설비", 원창출판사, 1991
17. 김학윤, 김한군, 백승호 공역, "열처리기술시리즈 3 표면열처리", 원창출판사, 1991
18. 박준규, 철강 열처리, 세진사, 1988
19. 손석준, 중성용액에서의 전해에 의한 열연강판의 스케일제거에 대한 연구, 서울대학교 대학원, 1998
20. 이승평 역, 열처리의 문제점과 대책, 대광서림, 1993
21. 최재성, 기기분석개론, 신광문화사, 1994
22. 이승규, 양진, 염근창, 노재성, 열연 Mill Scale을 이용한 Ferrite용 산화철 제조 연구, 한국폐기물학회지 15권 4호, 1998. 5
23. 원가절감을 위한 청정생산기술 적용방안, 삼성지구환경연구소, 1998
24. Schachtner John, Muller-Spath Gerhard, Verringerung der NOx Emissionen bei Wärmebehandlungsoften in Gießereien und Verminderung der Bildung von chromoxidhaltigem Glühzum der an hochlegierten Stahlstücke, 1993. 4.
25. Javier M. Ballester, Cesar Dopazo, Norberto Fueyo, Investigation of low-NOx strategies for natural gas combustion, Fuel Vol. 76 No. 5, 1997

26. T. C. Adrian Hsieh, Werner J. A. Dahm, James F. Driscoll, Scaling laws for NO_x emission performance of burners and furnaces from 30kW to 12MW, *Combustion and Flame* 114:54-80, 1998
27. Zeljko Bogdan, Neven Duic, Daniel-Rolph Schneider, Three-Dimensional simulation of the performance of an oil-fired combustion chamber, 14th UIT National Heat Transfer Conference, 1996
28. A. Mochida, K. Kudo, Y. Mizutani, M. Hattori, Y. Nakamura, Transient heat transfer analysis in vacuum furnaces heated by radiant tube burners, *Energy Convers. Mgmt* Vol. 38, No. 10-13, 1997
29. J. D. Parker, G. C. Stratford, Effect of heat treatment on creep and fracture behaviour of 1.25Cr-0.5Mo steel, *Materials Science and Technology*, Vol. 11, 1995. 12.
30. Ozturk B, Matway R., Oxidation of type 304 stainless steels under simulated annealing conditions, *ISIJ International*, Vol. 37 No. 2, 1997
31. C. F. Yeung, K. H. Lau, H. Y. Li, D. F. Luo, Advanced QPQ complex salt bath heat treatment, *Journal of Materials Processing Technology* 66, 1997
32. Anderson Dias, Vanessa de Freitas Cunha Lins, Scale morphologies and compositions of an iron-manganese-aluminum-silicon alloy oxidated at high temperatures, *Corrosion Science*, Vol. 40 No. 2, 1998
33. K. Mizuno, A. Nylund, I. Olefjord, Surface analysis of oxide formed during heat treatment of Al-Mg-Si alloys, *Materials Science and Technology*, Vol. 12, 1996. 4.