

새로운 진공침탄 기술*

강조원 · 장우양

조선대학교 신금속소재공학과

New Vacuum Carburizing Technology

J. W. Kang and W. Y. Jang

Dept. of Metallurgical Engineering, Choasun University, Gwangju 501-759, Korea

1. 서 론

지난 25년간 실험실 또는 일부 산업체에서 제한된 분야에 응용되어온 저압침탄 또는 진공침탄이 최근에는 침탄 열처리분야에서 큰 각광을 받고 있다. 본 해설은 이러한 진공침탄분야에서 중요하게 부각되고 있는 최근의 기술발전에 대하여 소개하고자 한다.

- 침탄분위기의 최적화; 시편 표면과 분위기 조성용 탄화수소사이의 계면
- 침탄공정과 노 구성 재료에 대한 최적화
- 가스 급냉설비를 갖춘 이실형 진공로(two-chamber vacuum furnace)의 설계

2. 진공침탄의 화학

진공침탄에서는 탄화수소의 열분해가 가열된 작업 챔버 내 전체에 걸쳐 자발적으로 일어나나 촉매의 역할을 하는 시편의 가열된 표면, 발열체 및 절연된 벽면에서 열분해가 특히 빠르게 일어난다는 점에서는 비평형 공정(nonequilibrium process)이다.

저압에서 프로판, 에틸렌, 아세틸렌과 같은 다양한 탄화수소가스에 대한 열분해의 독특한 반응들은 상당히 많이 알려져 왔다[1,2].

이와 같은 비평형 조건하에서는, 반응속도가 지배적이기 때문에 성공적인 진공침탄을 위해서는 반응속도를 조절하기 위한 방안들이 강구되어야 한다. 예를 들어, 수트(soot)와 타르(tar)를 방지함과 동시

에 높은 표면 탄소량(1.6~2%의 탄소)을 유도해 내기 위해서는 충분한 양의 탄화수소를 공급하여야 한다.

타르는 노와 펌프계의 차거운 표면에서 응축되어 침탄설비에 상당한 손상을 가져다 줄 수 있기 때문에 별로 바람직하지 못하다. 침탄설비로부터 채취된 타르를 함유한 시료에 대한 핵자기공명분석(NMR) 결과에 의하면 타르에 있는 대부분의 수소원자(91.3%)는 방향족 고리를 직접 형성하는 것으로 보고되고 있다. 나머지 8.7%의 수소원자는 방향족 고리사이에서 메틸렌 다리를 형성하거나 지방족 사슬 구조를 하게 된다. 이러한 결과들은 메탄 열분해의 열역학적 계산과 잘 일치[3]하며, 벤젠(C₆H₆)고리가 가장 잘 형성되는 온도구간이 900°C와 1000°C의 온도구간 즉 진공침탄의 조업온도 구간과 같다는 것을 확인할 수 있다.

3. 침탄가스의 최적화

산업용 진공로에서 사용되는 것과 유사한 재질의 발열체를 갖는 실험로에서 침탄가스 조성물에 대한 최적화 실험을 시행하였다. 펌프계에 혼입되는 타르 입자를 포집하기 위하여 차거운 석영제 응축필터를 가열 챔버의 출구 끝에 설치하였다. 석영 필터는 각 시험 주기마다 주의깊게 조사하였다. 황갈색의 타르 막이 관찰되면 필터를 세척하였으며, 상대적인 타르의 양은 색도계(colorimeter)를 이용하여 측정하였다.

본 실험의 목적은 탄소원으로 에틸렌(C₂H₄)을 사용하고 수소와 질서의 농도를 제어함으로써 최적의

*이 글은 Heat Treating Progress, 1(1) 2001, pp.57-60 에 게재된 내용을 번역한 것임.

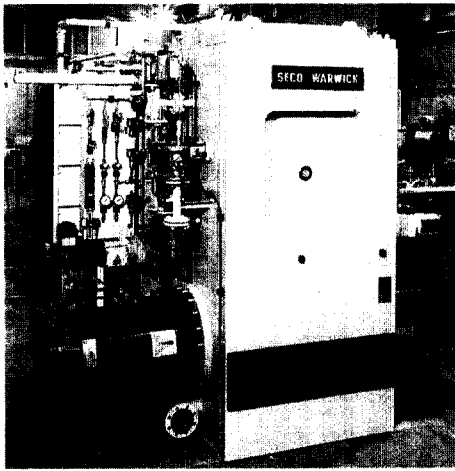


그림 1. 16 bar까지 가스냉각할 수 있는 이실형 진공 침탄 및 가스냉각로. 사진제공: Sec/Warwick사(폴랜드).

조성과 침탄로 내의 전체 유량을 결정하기 위한 것이다. 공정 압력은 20 Torr.까지 조절하였다. 노 배출가스 중 수소량이 60% 이상일 경우에는 수트와 타르는 완전히 제거할 수 있는 것으로 조사되었다. 가스의 유동속도가 크면 노 내부에서의 에틸렌(C_2H_4) 가스의 분리를 방지하는데 도움이 되었다. 또한 이러한 조건에서는 강재의 표면에서 높은 탄소 농도를 얻을 수 있었다.

4. 챔버의 재료

침탄로 내부 구성품에 흡착된 수트와 타르 중의 탄소는 촉매로 간주할 수 있다. 발열체, 단열체 및 침탄분위기와 접촉된 다른 진공로 내부의 구성품에 대한 촉매의 활동도를 조사하기 위하여 내부 가열이 가능한 실험설비를 이용하였다. 예를 들면, 구조재료로서 탄소계 재료는 내부 기공이 무시할 만큼 적었으며 미량 금속의 함량도 매우 낮아 만족할 만한 결과를 얻을 수 있었다. 다른 재료 또는 탄소계 재료를 다른 재료와 조합해서 사용할 경우에는 고온의 가스 분위기와 접촉하였을 때 이와 같이 우수한 결과를 나타내지 않았다. 이러한 실험 결과를 바탕으로 수트와 타르 형성의 용이도에 따라 작업 챔버의 후보재료들을 등급별로 구분하였다. 축적된 데이터들은 이미 진공 침탄설비 제작에 필요한 최적의 재료들을 선정하는데 이용되고 있다.

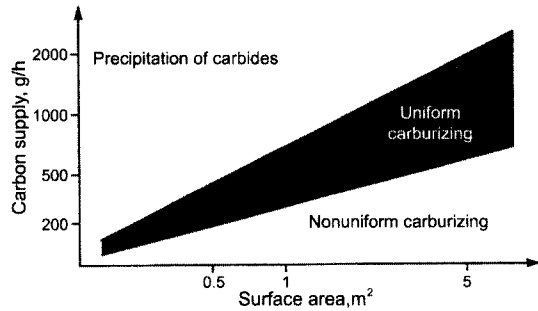


그림 2. 진공침탄시 표면적과 탄소 공급량에 따른 균일침탄 구역(노내 압력: 20 Torr).

5. 장입물과 분위기

노 내의 분위기로부터 강재의 표면까지의 탄소이동(carbon transfer)의 효율성은 $M(g/m^2 \cdot h)$ 이라는 인자로 설명할 수 있다. 침탄 초기 단계에서는 침탄층의 성장을 가속시키기 위하여 탄소이동인자를 매우 높게($950^\circ C$ 에서 $120 g/m^2 \cdot h$) 설정하여야 한다. 이후 강재 표면에서의 탄화물(세멘타이트, Fe_3C)의 형성을 방지하기 위해 침탄시간과 함께 탄소이동인자를 낮춰야($950^\circ C$ 에서 $20 g/m^2 \cdot h$) 한다[1,4,5]. M 값은 온도와 가스 혼합물의 조성에 의존하기 때문에 M 값은 새로 개발된 침탄분위기에 대해서는 각각 실험적으로 결정하여야 한다.

표면을 균일하게 침탄시키는 데 필요한 최적의 탄소량을 그림 2에 나타낸다. 균일한 표면 침탄층을 얻기 위해서는 공급되는 탄소량을 조절하여야 한다. 너무 과다한 탄소는 탄화물의 석출 즉 수트 및 타르를 유도하는 반면, 너무 적은 양의 탄소는 불균일한 침탄층을 형성하게 된다.

6. 침탄 모의실험

진공침탄로를 개량하여 제작한 소규모의 일실형 챔버 진공로를 이용하여 이미 설명한 실험에서 얻어진 가이드 라인에 따라서 탄소 공급에 대한 최적화에 대한 실험을 시행하였다. 강재 시편은 실제 생산제품을 가정하여 준비하였다.

$C_2H_4 + H_2 + N_2$ 의 침탄분위기를 이용할 경우, 강재 표면으로의 탄소의 이동은 매우 효율적이었으며 장입한 에틸렌으로부터 60% 이상의 탄소가 흡수될

때 얻어 지는 M값은 $120 \text{ g/m}^2 \cdot \text{h}$ 이었다. 그러나, 만약 탄소량이 너무 낮을 경우 침탄은 선택적으로 이루어졌으며 완전 침탄, 불완전 침탄 및 탈탄 구역들이 동일한 강재 시편에서 발견되었다. 이러한 거동은 침탄 초기에 분위기 가스가 흡착된 시편의 특정부위에서 분위기 가스의 분해 생성물 특히 수소의 매우 빠른 표면 확산에 기인하는 것으로 판단 된다.

7. 확산과 급냉(Diffusion and quenching)

일실형 챔버 진공로를 이용하여 본 실험에서 얻어진 데이터는 그림 1과 그림 3과 같은 전통적인 일실형 챔버 진공 침탄로를 설계하고 제작하는데 지침으로 이용하였다.

장비로는 가열/침탄 챔버(60x60x90 cm)와 장입물을 가스냉각할 수 있는 냉각 챔버로 이루어졌다.

가스냉각은 16 bar를 최대로 하는 압력하에서 질소를 이용하여 이루어졌다. 130 kW의 전력에 의해 가동되는 두 대의 효율적인 팬 설비는 30 m/s까지의 높은 가스 유동 속도를 가능하게 한다. 본 실험결과로부터 얻어진 열전달계수(α)는 $1200 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$ 로서 전통적인 기름냉각에 의해 얻어진 수치와 비교할 수 있다[4]. 가스냉각은 저합금 침탄강으로 제조된 중형 크기의 기어 및 샤프트를 침탄시켜 적절히 경화시키기 위해 충분한 냉각속도를 갖는다. 진공침탄 및 질소를 이용하여 가스 급냉된 저합금강의 경도변화를 그림 4에 나타낸다.

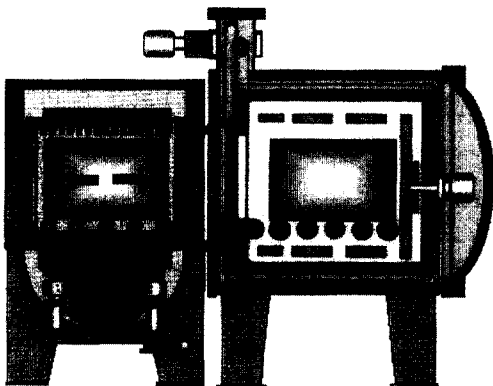


그림 3. 진공침탄로 및 고압가스냉각로로 설계된 Sec/Warwick사의 일실형 챔버의 개략도.

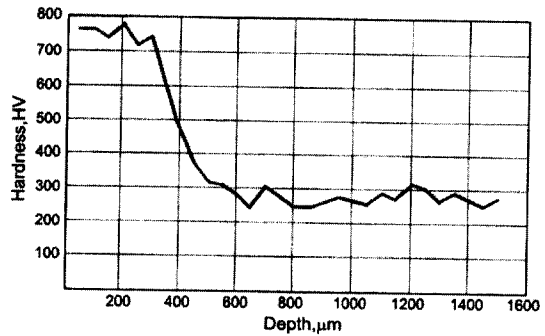


그림 4. 진공침탄후 질소가스로 냉각된 저합금강의 표면으로부터의 깊이에 따른 경도변화.

7.1. 장점

요즘 새로 개발된 일실형 챔버 진공로가 진공침탄 및 가스냉각에 의해 트랜스 미션을 제조하는 공정에 이용되고 있다. 여러 침탄강으로부터 제조된 다양한 기어제품에 대하여 만족할 만한 결과들이 얻어졌으며 그 장점들은 다음과 같다.

- 침탄 경화된 부품의 표면이 깨끗하고 선명함.
- 아주 날카로운 모서리, 깊이가 깊은 구멍(직경 7 mm x 깊이 110 mm) 및 틈새에서도 내부산화나 탄화물 석출의 흔적이 없는 균일 침탄층을 갖는 미세조직을 형성(그림 5). 최적화된 진공침탄 분위기에서 매우 양호한 틈새 침투 능력의 한 예를 그림 6에 나타낸다. 기어의 단면 사진을 보면 0.1 mm의 좁은 틈새에서도 침탄층이 잘 형성되어 있음을 알 수 있다.



그림 5. SAE 5115강의 진공침탄층의 미세조직(X80, 4% Nital).

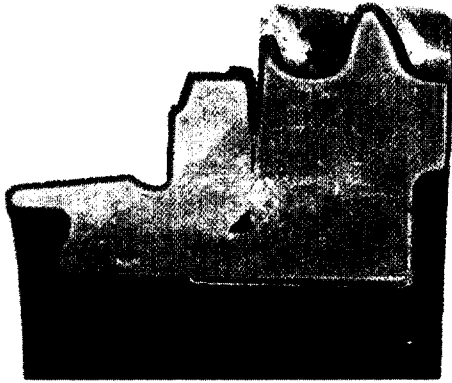


그림 6. SAE 5115강 기어의 단면 미세조직 사진.

- Hoffmann, Lubben 및 Mayr[6]에 의해 추정된 경도값과 잘 일치하며, 담금질 변형 이 작고 작업변수가 적음.
- 장입물의 유형, 형상 및 크기와 무관하며, 수트와 타르의 발생 문제가 없음.
- 상이한 시편의 크기 및 등급별 강재에 대해서도 동일한 결과가 얻어짐.

참고문헌

1. "Influence of Carbon Transfer in Low Pressure Carburizing," by W. Grafen and B. Edenhofer: Harterei-Technische-Mitteilungen, 54(5) Sept.-Oct. (1999) 335-340.
2. "Pyrolysis of Methane in the Presence of Hydrogen," by O. Olsvik et al.: Chemical Engineering Technology, 18 (1995) 349-358.
3. "Methane Pyrolysis: Thermodynamics," by CH. Gueret, M. Daroux, and F. Billaud: Chemical Engineering Science, 52(5) (1997), 815-827.
4. "An Overview of Advances in Atmosphere and Vacuum Heat Treatment," by B. Edenhofer: Heat Treatment of Metals, 26(1) (1999) 1-5.
5. "Acetylene Low-pressure Carburising-a Novel and Superior Carburising Technology," by W. Grafen and B. Edenhofer: Heat Treatment of Metals, 26(4) (1999) 79-85.
6. "Innovations in Quenching Systems and Equipment: Current Status and Future Developments," by F. T. Hoffmann, T. Lubben, and P. Mayr: Heat Treatment of Metals, 26(3) (1999) 63-67.