

〈기술자료〉

아세틸렌 가스를 사용하는 진공 침탄법

(Vacuum Carburizing using Acetylene Gas)

- 정리 : 경북대학교 정인상
In-Sang Chung

이 자료는 "熱處理", 38(1998) 194-197에 게재된 (株) DENSO의 奥村 望(Nozomu OKAMURA)와 岩瀬 厚司(Atsushi IWASE)의 기술 해설을 번역하여 정리한 자료입니다.

1. 시작하면서

대량생산할 수 있는 침탄 공정인 가스 침탄법과 비교하여 진공 침탄법은 우수한 특징을 많이 가지고 있다. 생산성으로는 진공 단열로 인해 고온 처리가 가능하여 처리시간이 단축되고, 품질면으로는 입계 취화가 적어지고, 가는 구멍의 내면(內面)에도 침탄이 가능하며, 환경 측면으로는 이산화탄소(CO₂)의 발생이 없으며, 또한 불연속적인 운전이 가능하여 에너지 절약이 이루어진다.

그러나 이 방법은 특수한 용도 외에는 그다지 보급되어 있지 않다. 그 이유는 널리 보급되어 있는 가스 침탄법을 대체할 만큼 우위성이 충분히 발휘되지 못한 점에 있다. 즉 진공 침탄법에는 아직도 해결해야 될 문제가 남아 있다는 뜻이기도 하다.

그 과제 중의 하나는 연기의 발생이다. 진공 침탄법에서, 침탄 가스로서 노내에 직접 탄화수소계 가스를 공급하기 때문에 그것의 열분해로 인해 발생하는 다량의 연기를 조정할 필요가 있고, 이것이 조업면이나 경제적인 면에서 마이너스로 작용하기 때문이다. 이 자료에서는 연기 발생을 줄이기 위해 C₂H₂ 가스를 사용하는 진공 침탄 공정에서 침탄의 정도, 가는 구멍 내면의 침탄 여부 및 침탄 반응 등을 살펴보기로 한다.

2. 진공 침탄법의 특징

진공 침탄법의 개발은 미국에서 처음 시작되었다.¹⁾ 개발의 계기가 된 것은 처리 시간의 단축과 처리 온도의 고온화를 하기 위해서는 가스 침탄

법으로는 노의 구조나 처리 방법에 한계가 있었기 때문이다.

처음에는 침탄 가스로서 CH₄ 가스를 사용하였으며, 처리 온도 1040°C, 처리 압력도 수 kPa - 20 kPa(수 10 - 150 Torr) 조건하에서 실시되었다.

일본에서는 1970년 경부터 설비가 제조되고, 판매가 개시되어 오늘에 이르고 있다. 이 방법의 특징을 열거하면 다음과 같다.

- 1) 고온에서 단시간 처리가 가능하다.
- 2) 변성로가 필요 없다.
- 3) 분위기 조절이 쉽다.
- 4) 입계 취화가 거의 없다.
- 5) 고농도 침탄이 가능하다.
- 6) 가는 구멍 내면에도 침탄이 가능하다.
- 7) 불연속적인 운전이 가능하다.

이번에는 C₂H₂ 가스를 사용한 경우의 고농도 침탄 여부와 가는 구멍 내면의 침탄성을 조사한 결과를 보고한다.

2.1 고농도 침탄

고농도 침탄이란 재료 표면 근방의 탄소 농도를 높여 탄화물을 석출시키는 처리이다. 이로 인해 표면 경도가 높아져서 내마모성, 내소착성(耐燒着性)의 개선에 효과가 기대된다. 고농도 침탄에는 몇 가지 방법이 제안²⁾되어 있기는 하나, 진공 침탄 기술을 활용하면 비교적 쉽게 달성할 수 있다. 고농도 침탄에서는 탄화물의 석출 상태를 제어하는 일이 중요하다. 만일 탄화물이 입계를 따라 분포되는 망상탄화물 형태로 석출하면 오히려 강도가 떨어지기 때문이다. 또한 탄소 농도가 높아지면 잔류 오스테나이트도 발생하기 쉬우므로

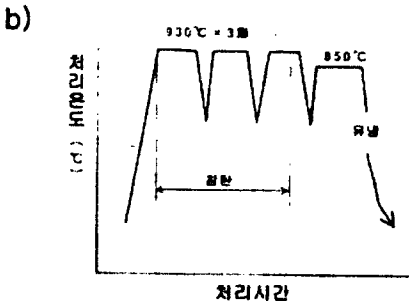


그림 1 고농도 침탄 조직(a)과 처리과정(b).

주의하지 않으면 아니 된다. 그러므로 조업조건을 탄화물의 크기, 형상, 분포를 고려하여 조절할 필요가 있다.

그림 1에는 침탄 가스로서 C_2H_2 가스를 사용하여 고농도 침탄한 조직을 보여 주고 있다. 아래에는 처리 공정을 나타내고 있는데, Acn 농도 근방까지 침탄시킨 후, 가스 냉각에 의해 Ar1 온도까지 급냉하여 다시 가열 침탄과 냉각을 반복하였다. 가열과 냉각을 반복함으로써 탄화물은 입계에 망상으로 석출하지 않고, 입내에 미세하고 균일하게 석출하게 되며, 표면 경도는 통상적인 침탄보다 Hv로서 100~200 정도가 더 높게 된다. 이와 같은 효과가 고농도 침탄에서 기대되기는 하지만 탄소의 농도, 탄화물의 석출 상태와 특성에 관해서 정량적인 결과를 검토가 필요하게 된다.

2.2 가는 구멍 내면의 침탄

진공 침탄법에서 가는 구멍 내면의 침탄성에 관

해서는 이미 $C_2H_2 + N_2$ 가스의 경우, 그 균일성이 보고되어 있다.” 침탄 가스로서 $C_2H_2 + N_2$ 가스를 사용한 경우, 노내 압력을 일정하게 유지하는 것 보다는 노내 압력을 pulse식으로 변동시키는 편이 구멍 내면의 침탄성이 더욱 균일하였다. N_2 가스의 첨가는 폭발의 위험성을 낮추기 위한 것이며, pulse식으로 가스를 공급함으로써 가스의 교반 효과를 얻을 수 있다.

그림 2에는 C_2H_2 가스를 침탄 가스로 사용한 경우, $5\phi \times 55$ mm 크기의 시편을 사용하여 진공 침탄 처리를 실시한 결과를 나타내고 있다. 처리 조건으로는 침탄 온도 $900^\circ C$, 킴칭 온도 $850^\circ C$, 처리 압력 130 Pa(1 Torr)의 일정한 압력하의 처리이다. 이 결과는 C_2H_2 가스를 침탄 가스로 사용하는 경우, pulse 압력변동 방법을 사용하지 않고도 낮은 압력에서 가는 구멍의 내면에도 균일한 경도를 얻을 수 있다는 사실을 보여 주고 있다. 지금까지는 CH_4 가스와 C_2H_6 가스가 사용되고 있었으나 극히 낮은 압력에서는 노내의 가스 교반이 불충분하여 침탄 얼룩(불균일 침탄)이 발생하기 쉬웠다.

3. C_2H_2 가스의 침탄 기구

진공 침탄법에서 C_2H_2 가스의 침탄 기구를 고찰하기 위해, 침탄 가스로서 포화 탄화수소인 C_3H_8

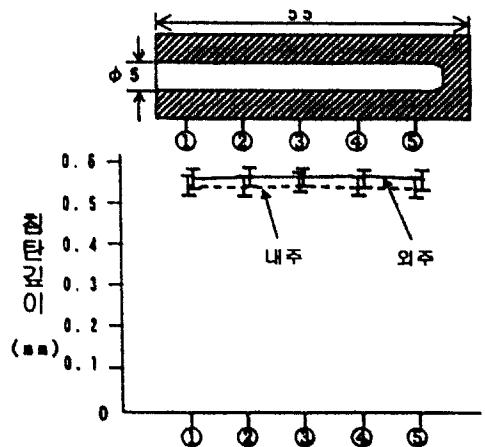


그림 2 C_2H_2 가스를 사용한 경우의 가는 구멍 내면의 침탄성.

가스, 불포화 탄화수소인 C_2H_2 가스 및 삼중 결합을 가진 C_2H_2 가스, 세 종류의 가스를 선정하여 침탄 시와 미침탄 시의 가스 분해 거동을 측정하였다.

3.1 실험방법

그림 3에는 사중극질량(四重極質量) 분석계의 개략을 나타내었고, 가스 분석의 조건은 다음과 같다.

진공실 내부압력 : 가스 도입 시 : 13 Pa(0.1 Torr), 도입 후 : 130 Pa(1.0 Torr)
온도 : 930°C, 진공실 크기 : 0.5m³

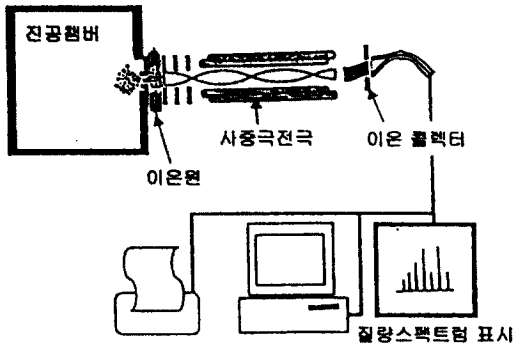


그림 3 사중극질량(四重極質量) 분석계.

3.2 가스의 분해거동

그림 4, 그림 5, 그림 6은 가열온도 930°C에서 진공실 안에 강을 넣지 않은 경우에, 포화 탄화수소인 C_3H_8 가스, 불포화 탄화수소인 C_2H_4 가스와 삼중 결합을 가진 C_2H_2 가스의 열분해 거동을 각각 보여주고 있다. C_3H_8 가스의 경우에는 시간이 지남에 따라 C_3H_8 가 줄어들고, H_2 가스가 증가하고 있으며, C_2H_4 가스와 CH_4 가스($n=1-4$, 너무 작은 양이라서 분리가 불가능하여 n 으로 표기함)가 생성되고 있음을 알 수 있다.

불포화 탄화수소인 C_2H_4 가스의 경우에는 C_2H_4 가스의 감소와 함께 C_2H_2 가스의 경우와 마찬가지로 H_2 가스와 CH_4 가스가 생성됨을 알 수 있다. C_2H_4 가스의 분해 속도는 C_3H_8 가스 보다 빠르다.

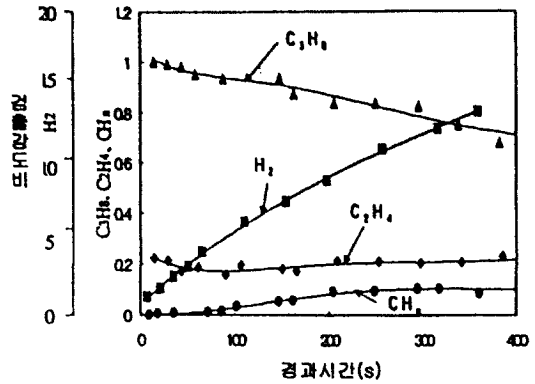


그림 4 C_3H_8 가스의 열분해 거동.

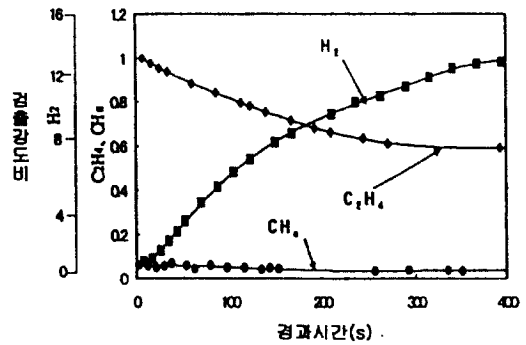


그림 5 C_2H_4 가스의 열분해 거동.

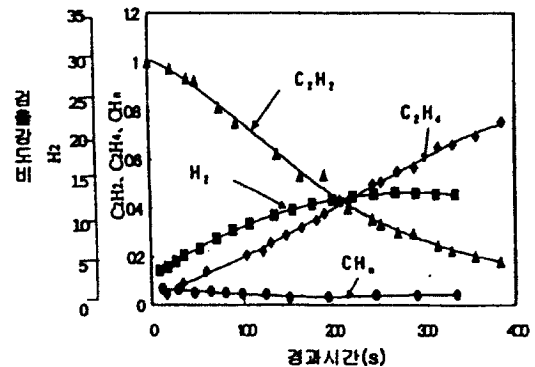


그림 6 C_2H_2 가스의 열분해 거동.

삼중 결합을 가진 C_2H_2 가스의 경우에는 C_2H_4 와 C_2H_6 가스의 경우와는 다른 거동을 보여주고 있다. C_2H_2 가스의 급격한 분해에 수반하여 H_2 가스와 C_2H_4 가스가 증가하고 있고, CH_4 가스의 생성이 인정되고 있다.

즉, C_2H_2 가스에서는 $C_2H_2 \Rightarrow C_2H_4 \Rightarrow CH_4$ 으로 고급 탄화수소에서 저급 탄화수소로 분해가 진행되는 것으로 판단된다. 마찬가지로 C_2H_4 가스에서도 $C_2H_4 \Rightarrow CH_4$ 으로 이행되고 있다. C_2H_2 가스에서는 $C_2H_2 \Rightarrow C_2H_4$, $C_2H_2 \Rightarrow CH_4$ 또는 $C_2H_2 \Rightarrow C_2H_4 \Rightarrow CH_4$ 으로 이행되는 것으로 판단된다.

그림 7, 그림 8, 그림 9에는 진공실 내에 강을 넣은 경우, C_2H_6 가스, C_2H_4 가스와 C_2H_2 가스의 침탄 시의 분해 거동을 각각 보여주고 있다. C_2H_6 가스와 C_2H_4 가스의 경우에는 열분해 거동과 비슷하나 분해 속도가 빠르고, CH_4 의 발생 양이 줄어들고 있다. 분해 속도가 빠른 것은 강의 촉매작용, CH_4 의 발생 양이 줄어든 것은 침탄에 의해 소비되었기 때문으로 판단된다.

그러나 C_2H_2 가스의 경우에는 열분해 거동과는 확실하게 다르며, 급격하게 C_2H_2 가 감소하고 있고, H_2 가스는 증가하고 있으며, C_2H_4 와 CH_4 성분은 검출되지 않는다.

이와 같은 결과는 C_2H_6 가스와 C_2H_4 가스에서의 침탄은 CH_4 성분이 주체이고, C_2H_2 가스 침탄에서는 강 표면에서의 흡착에 의한 C_2H_2 가스의 직접 반응, 즉 $C_2H_2 \Rightarrow 2C[Fe] + H_2$ 반응에 따르고 있는 것으로 추론 될 수 있다. 더구나 C_2H_2 가스는 삼중 결합을 가진 불포화 수소로서 화학반응성이 풍부하고, 금속 또는 금속화합물과의 반응에 의해 금속 유도체인 금속 아세틸렌을 만든다. 따라서 강의 반응에 의해 시멘타이트(Fe_3C) 등의 화합물이 생성되기 쉬운 것으로 생각된다.

그림 10은 C_2H_2 가스를 사용하여 $930^\circ C$ 에서 30분간의 침탄 후, 확산처리를 하지 않고 공기 중에서 냉각처리한 경우의 시멘타이트 석출 상태를 보여주고 있다. 또 그림 11은 C_2H_6 가스를 사용하여 $930^\circ C$ 에서 30분간의 침탄 후, 확산처리 하지 않고 공기 중에서 냉각처리한 경우의 시멘타이트 석출 상태를 보여주고 있다. C_2H_6 가스 침탄에서는 입계를 따라 시멘타이트의 석출이 관찰되지만,

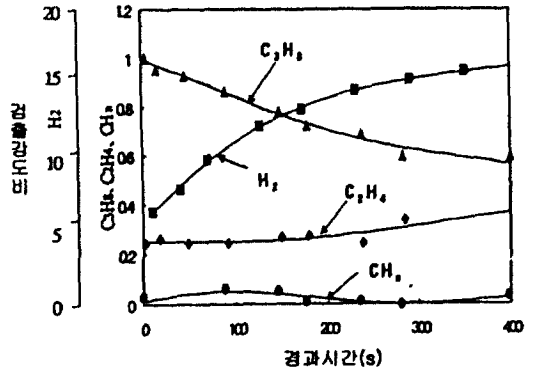


그림 7 C_2H_6 가스의 침탄 시의 분해 거동.

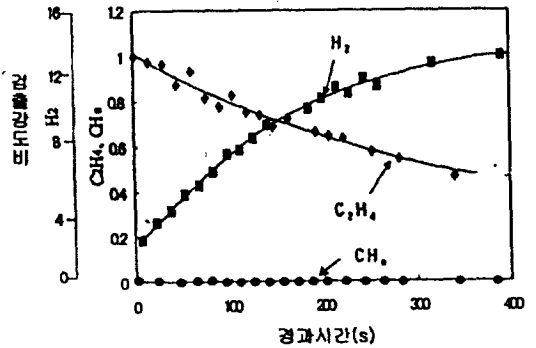


그림 8 C_2H_4 가스의 침탄 시의 분해 거동.

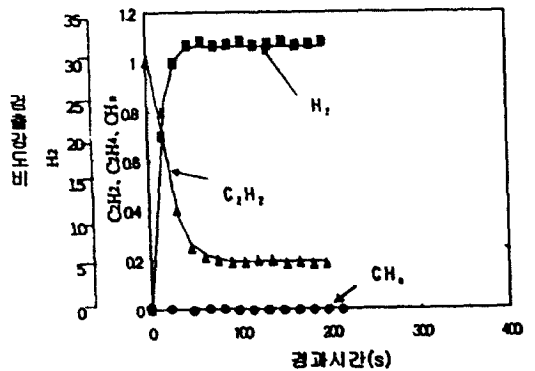


그림 9 C_2H_2 가스의 침탄 시의 분해 거동.

면에 침탄성이 좋아지고, 강과의 직접 반응에 의해 고농도 침탄 또는 탄화물의 생성이 이루어지는 것으로 판단되나 이에 관해서는 앞으로도 상세한 검토가 필요할 것이다.

4. 마무리하면서

C_2H_2 가스를 사용하는 진공 침탄법에서 고농도 침탄, 가는 구멍 내면의 침탄성과 침탄 가스의 분해 거동에 관하여 보고하였다. 지금까지의 진공 침탄의 문제점, 즉 다량의 연기 발생 문제는 큰 성과를 얻을 수 있었다. 더욱이 낮은 압력에서도 균일한 침탄이 가능한 것은 지금까지의 포화 탄화수소계 가스에서는 볼 수 없었던 결과이다. 침탄 기구에 관해서는 앞으로도 더욱 상세한 검토가 필요하지만, C_2H_2 가스의 강에 대한 흡착 현상이 큰 의미를 가지는 것으로 판단된다.

그러나 C_2H_2 가스를 사용하는 경우에 강과의 직접 반응에 의해 생성되는 것으로 판단되는 시멘타이트의 생성 거동, 예를 들면 조건에 따른 침탄/확산의 비 등을 검토하여 최적 조건을 알아야 할 필요가 있다. 또한 C_2H_2 가스는 이전에 사용하던 포화 탄화수소계 가스와는 특성이 다르므로 취급에 주의할 필요가 있다.

참고문헌

- 1) H. W. Western : Metal Prog., 102(1972)101
- 2) O. E. Cullen : Patent, No.610, 554, Canadian (1974).
- 3) 奥村 望 : 熱處理, 24(1984)280.
- 4) 杉山道生 : 熱處理, 37(1997)158.

C_2H_2 가스 침탄에서는 표면에 다량의 시멘타이트가 형성되어 있다. $930^{\circ}C$ 에서 60초의 처리에서도 표면에 탄화물이 석출되는 것으로 보고하고 있다."

이상의 결과에서 진공 침탄법에서 침탄 가스로서 C_2H_2 가스의 효과는 흡착에 의한 가는 구멍 내