

21세기 진공침탄 열처리 기술의 발전전망*

김한군 · 정태영

부경대학교

Vacuum Carburizing : Challenges for the Next Century

Han-Goon Kim and Tae-Young Chung

Dept. of Metallurgical Engineering, Pukyong National University

1. 시작하면서

가스침탄은 재료의 승온, 침탄과 확산 및 퀴칭의 각 프로세스에 대응해서 침탄가스의 탄소 포텐셜을 조정하면서 대기압하에서 침탄퀴칭을 실시하는 방법이다. 이것에 비해서 진공침탄은 진공열처리로를 이용하여 감압하의 노내에 존재하는 가스와 침탄시 발생하는 탄화수소 가스의 분압을 침탄퀴칭 프로세스에 따라 제어하면서 실시하는 방법으로 일명 분압침탄(Partial Pressure Carburizing)이라고도 부른다. 전자는 재료 주위의 가열 분위기를 인위적으로 조정하면서 실시하는 방법(탄소 포텐셜 제어법)이다. 이것에 비하여 진공침탄은 철강재료가 가지는 고유의 물성, 바꾸어 말하면 상태도에 의해 얻어질 수 있는 수치를 이용해서 실시하는 방법(포화수치조정법)으로서 침탄퀴칭은 고가의 계기나 숙련도가 필요없이 간단히 정확하게 실시할 수 있다. 또한 진공열처리로의 장점과 함께 가스침탄의 문제점을 크게 개선가능한 침탄방법으로서 많은 기대를 받아왔으며 이미 20수년 전에 소개되었다.

진공침탄의 장점이 여러 가지로 평가되어 많은 문헌에 발표되어 있지만 당초에는 가스침탄을 석권할 수 있는 기술로 생각되었던 것에 비해서 현재로서는 그다지 보급되어 있지 않다. 그러한 최대의 원인은 로내에서 발생하는 그을음의 퇴적으로 인한 관리, 유지 및 비용에 기인한다. 그 문제를 해결하기 위해서 여러 가지 방법이 실시되고 있지만 그다지 큰 성과는 이루어지지 않았다. 그러나 최근 진공침탄에 사용되고 있던 포화 탄화수소인 프로판, 메탄의 작용에 의하여 그을음의 발생을 조정시키는 것으로 알려진 이후 지금까지 누구도 돌아보지 않았던 불포화 수소의 아세틸렌을 낮은 분압으로 사용함으로써 그을음의 문제를 대폭 개선하는 것이 가

능하여졌다. 이에 따라 가스침탄을 변화시킨 기술로써 개선된 진공침탄이 다시 평가되고 있다. 종래부터 사용되고 있던 프로판, 메탄에 의한 진공침탄과 새롭게 개발된 아세틸렌에 의한 기술을 덧붙여 진공침탄기술에 대하여 소개하고자한다.

2. 진공침탄 프로세스와 장점

Fig. 1에 진공침탄 프로세스와 탄소포화치 조정법을 상태도상에 나타내었다. 가스침탄에서 실시되는 침탄 분위기의 탄소 포텐셜 제어법에 비해서 진공침탄은 탄소 고용한도와 확산이라고 하는 자연현상을 그대로 이용해서 침탄층을 제어하는 방법으로 탄소포화치 조정법이라고도 알려져 있다. 침탄시간 T_c 와 확산시간 T_d 에 의해 목적으로 하는 표면 탄소량과 침탄깊이를 정확하게 얻을 수 있는 것이 진공침탄의 특징이다. 진공침탄에 대한 여러 가지 프로세스와 장점을 소개한다.

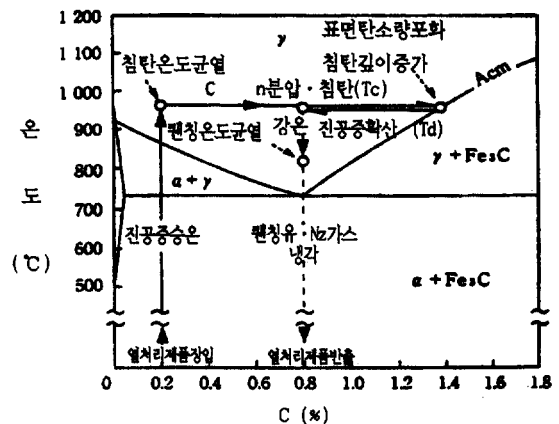


Fig. 1. 진공침탄 프로세스와 포화치 조정법

* 杉山道生 (Michio SugiYama)

2.1 진공침탄로의 시동

정지 상태의 진공침탄로는 보통 가열실은 27Pa, 냉각실은 66~80kPa (500~600Torr)의 질소분위기의 상태이다. 냉각실은 복압(復壓)하면 즉시 침탄을 개시할 수 있다. 가스침탄의 경우는 우선 침탄로를 침탄온도까지 승온시키고 미리 변성로에서 조정한 변성가스를 로내에 도입한다. 로내에 수시간 변성가스를 방치해 로의 분위기가 안정하게 되면 엔리치 가스를 첨가하고 침탄 처리를 개시하게 된다. 따라서 가스침탄에서는 간헐적인 운전은 상당히 비경제적이기 때문에 24시간의 연속운전을 전제로 해야한다. 이것에 비해서 진공 침탄로에서는 필요할 때만 스위치를 켜면 즉시 침탄이 가능하기 때문에 상당히 경제적이다.

2.2 승온과 균열

처리물의 승온과 균열은 로점(露点)이 -40~-50°C의 진공분위기에서 실시하기 때문에 표면의 산화를 완전히 방지할 수 있을 뿐 아니라 산화물이나 이물질 등을 증발 휘산 제거하고 침탄가스와 반응하기 쉬운 활성상태의 표면이 된다. 이것에 비해서 가스침탄의 경우는 로점이 ±0°C정도의 탄소포텐셜의 캐리어 가스중에서 승온과 균열이 이루어진다. 산화 및 산화물을 완전히 방지하기가 어렵고 또 승온균열 중에 부분적으로 침탄이 시작되어 침탄열룩의 원인이 된다. 특히 소결품의 침탄은 밀도 7.0g/cm³의 경우 925°C의 침탄시 강에 비교해서 1.2배 침탄이 빠르기 때문에 침탄층의 균일한 제어가 곤란하여 기계적 성질을 노화시킨다.

Stackpole사(캐나다)에서는 GM사의 4륜구동차의 트랜스미션 기어에 진공침탄을 실시하여 표면경도 HRC60이상, 항장력 87kg/mm², 항복점 84kg/mm²의 제품을 생산하여 1996년도의 우수 소결품으로 선정된 바 있다.

2.3 침탄

2.3.1 침탄온도

침탄온도를 올리면 침탄시간을 크게 단축할 수 있기 때문에 경제적인 침탄이 가능하다는 것은 이미 잘 알려져 있다. 그러나 현재의 가스 침탄로에서는 기껏해야 침탄온도 940°C까지로서 이 이상 온도를 올리면 침탄 시간단축의 효과는 얻을 수 있지만 로의 손상이 급격하여 지기 때문에 총 비용에서 고온침탄은 오히려 비경제적이 된다. 그것에 비해서 진공침탄로의 구조는 기본적으로 일반의 진공로와 같은 1100°C이상에서 견딜

수 있는 구조로 되어 있고 일반적인 침탄온도 920°C 정도에서 제약되는 것이 없고, 이보다 훨씬 높은 침탄 온도도 부담없이 선정할 수 있다. 특히 깊은 침탄층을 필요로 하는 경우 고온침탄에 의해 크게 침탄시간을 단축할 수 있다.

보잉헬리콥터사(미국)에서 헬리콥터용 트랜스미션, 기어 AISI 9310 소재를 ECD 1.3mm로 침탄시키는 경우 가스침탄에서는 930°C에서 약 7.5시간 소요되지만 이것을 진공침탄으로 바꾸어 980°C에서 실시하면 4시간으로 가능하게 되어 1.9배 생산성을 높일 수 있었다. 또한 입계산화가 없는 기어 형상에 대하여 침탄층의 열룩도 적고 더욱이 고온침탄에 의해 탄소 농도구배가 완만하게 되는 효과도 있어 상당히 우수한 품질이 얻어진다는 것이 보고되고 있다.

2.3.2 침탄시간 (침탄+확산)

진공 분위기중에서 승온과 각부의 균열(均熱)이 이루어지면 곧 탄화수소가스를 도입한다. 로내는 수 초만에 소정의 압력에 도달하게 되고 처리물의 표면 각 위치는 감압하의 침탄분위기로 균일하게 되어 침탄이 개시된다. 소정시간 탄화수소가스를 공급한 후 가스를 배출해서 재차 원래의 진공도로 돌아와 확산을 실시한다. 전침탄, 침탄 및 확산에 소요되는 시간의 설정은 다음식에 따라 이루어진다.

$$D = K\sqrt{T} \quad (1)$$

$$T_c = T \times \left(\frac{C_2 - C_0}{C_1 - C_0} \right)^2 \quad (2)$$

$$\begin{aligned} TF &= t_c + T_d \\ T_d &= T_c \cdot R \end{aligned} \quad (3)$$

여기서 D : 구하는 침탄깊이 mm, T : 전침탄시간 h, K: 비례상수, C₁=침탄종료시의 표면탄소량, C₂ : 구고자 하는 표면탄소량, C₀ : 소재의 탄소량, R : 침탄시간 T_c와 확산시간 T_d의 비를 나타낸다. (1), (2)식은 Fick의 법칙을 기초로하여 F. E. Harris가 구한 실험식이다. (2)식에서의 진공침탄의 경우에는 침탄완료시의 탄소량은 포화치로 되어 침탄온도가 일정하면 침탄량도 일정하게 되고 구하는 표면탄소량도 일정하면 침탄시간과 확산시간은 일정비가 되어 (3)식과 같이된다. K의 값은 침탄온도를 일정하게 하면 가스침탄에서는 탄소포텐셜에 의해 크게 변하지만 진공침탄에서는 탄화수소

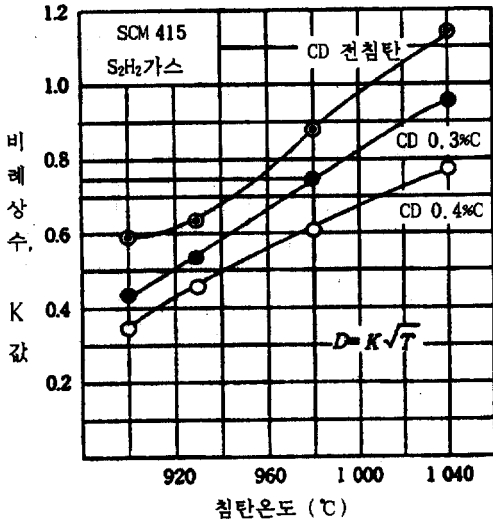


Fig. 2. K값과 침탄온도의 관계

가스의 종류에 의해 다소 변하는 정도로서 압력의 영향은 거의 없다.

Fig. 2는 SCM 415에 아세틸렌 가스를 이용해서 여러 가지 온도에서 해당되는 시간에서 침탄을 실시하였을 때 얻어진 침탄층을 탄소분석에 의해 구해진 전침탄층과 유효침탄 깊이를 0.3%C와 0.4%C로 하였을 때의 K값을 구한 결과이다. 또 SCM 415이외에 S 15C와 SNCM 420에 대해서도 동일한 시험을 실시하여 K를 구했으나 재질의 차이는 거의 없었다. 합금원소의 영향은 침탄의 난이도 보다는 오히려 경화능에 크게 영향을 미친다.

Fig. 3은 각 온도에서 침탄시간 T_c 처리하여 표면 탄소량이 0.8%C가 되도록 확산 T_d 처리하였을 때의 T_d/T_c 를 구한 결과이다. 또 지금까지 일반적으로 사용되고 있는 프로판의 T_d/T_c 를 비교해서 나타냈으나 아세틸렌의 경우는 프로판에 비교해서 저온측에서는 침탄시간을 조금 길게 하고 확산시간을 짧게 할 필요가 있으며 이에 대한 고찰은 4장에 기술한다. 예를 들면 재질 SCM 415 유효경화깊이 1.5mm(0.3%C)의 처리물을 침탄온도 980°C에서 침탄하는 경우의 전침탄, 침탄 및 확산시간은 다음과 같다.

$$K=0.75 \quad R=2.2$$

$$1.5\text{mm}=0.75\sqrt{T} \text{ 로서}$$

$$T_d = 2\frac{3}{4}\text{h}, \quad T_c = 1\frac{1}{4}\text{h}, \quad T = 4\text{h}$$

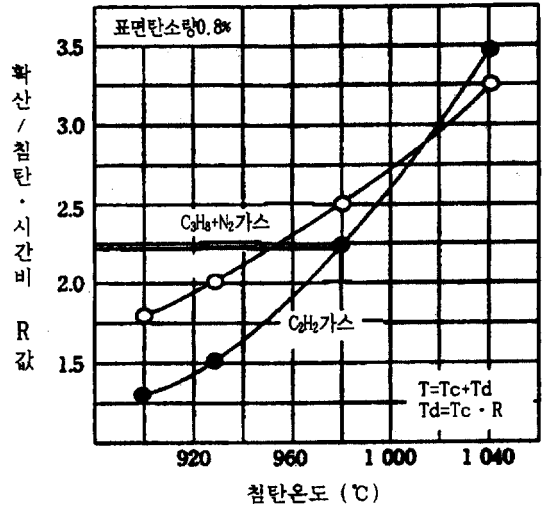


Fig. 3. 각 침탄온도에서 확산과 침탄시간의 비

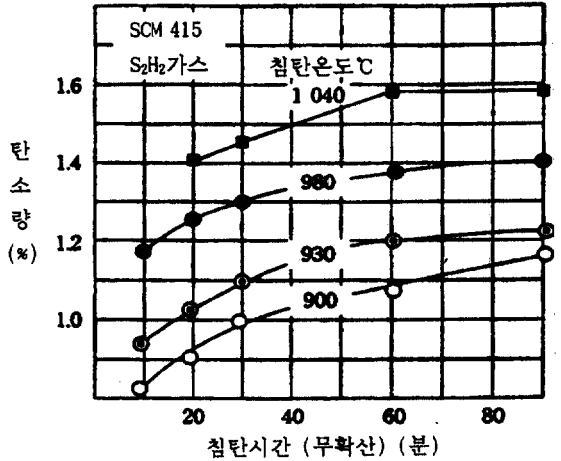


Fig. 4. 침탄시간과 표면탄소량

진공중에서 가열이 완료된 후 탄화수소 가스를 1시간 15분 공급하고 다시 배기해서 진공중에서 2시간 45분 가열해서 침탄층을 내부에 확산시킨다. 전침탄시간 4시간을 경과한 후 퀀칭온도까지 온도를 내려 기름침을 실시한다. 결정립의 조대화를 방지하기 위하여 일차 퀀칭, 이차 퀀칭을 실시한다. 그러나 고온침탄에 의해 유지시간이 짧아지기 때문에 합금강이면 거의 기계적 성질에 영향을 주지 않는다는 보고도 있다. 또 Fig. 4에 나타낸 바와 같이 탄화수소를 공급해도 순간적으로 표면 침탄량이 포화치에는 도달하지 않기 때문에 침탄온도가 낮은 경우와 침탄깊이가 깊을 때에는 다소의 조절을 요한다. 보통은 침탄시간을 길게

하고 확산시간을 짧게 해서 시험을 실시한다. 그 결과를 T_c , T_d 및 R 값에 반영해서 다스의 수정을 가하여 실시하면 목적하는 침탄경화가 가능하다. 보다 정확하게 실시하기 위해서는 계산에 의해 구하는 방법도 보고되고 있다.

그러나 가스침탄에서는 구하는 표면 탄소량과 같은 탄소 포텐셜에서 침탄을 실시하면 (1)식에 의해 소정의 침탄깊이가 얻어지지만 그것에는 K 치가 작기 때문에 침탄시간을 길게하는 결과를 초래하여 실용적이지 못하다. 그 때문에 구하는 표면 침탄량보다 높은 탄소 포텐셜에서 침탄을 실시한다. 확산은 탄소포텐셜을 구하는 표면 탄소량보다 낮은 값으로 내려서 탈탄과 확산을 병행해서 실시하는 방법을 취하고 있다. 또한 승은 도중 균열중에도 부분적으로 침탄이 이루어지기 때문에 진공침탄과 같이 (1)·(3)식을 사용할 수 없고 가스침탄에서는 작업자의 숙련이 요구된다. 이러한 방법은 內藤에 의해 상세히 보고 되고 있으나 진공침탄에 비교해서 상당히 복잡하고 또 탄소 포텐셜의 정확한 제어도 필요하다.

2.4 켄칭

침탄과 확산을 끝낸 후 질소가스에서 80kpa(600torr) 부근까지 복압(復壓)해서 기름 켄칭을 실시한다. 복압치를 적당히 선정하는 것에 의해 켄칭유의 냉각특성을 변화시키는 것이 가능하고 켄칭변형을 경감시킬 수 있다. 이 때 유면압(油面壓)이 너무 낮으면 켄칭유의 냉각능이 부족해서 켄칭이 되지 않는다. 최근에는 질소 가스를 10bar 정도 유지하여 가압냉각에 의한 켄칭방법도 보고되고 있다. 켄칭성이 좋은 합금강으로써 비교적 크기가 소형인 경우에 적당하고 켄칭 후의 세정이 필요없고 켄칭변형이 적은 고품질의 침탄 켄칭이 가능하다.

고온침탄에서 조대화된 결정립을 미세화시키고자 하는 경우에는 확산후 로내에서 가스냉각하고 재차 가열실로 이동해서 켄칭은도에서 가열해서 기름 켄칭을 실시한다. 가스냉각에 의한 일차 켄칭에서는 SCM 415에서 450°C·SCM 420에서는 450°C이하로 할 필요가 있는 것으로 알려져 있다.

3. 진공침탄 제품의 품질

3.1 기계적 성질

진공침탄한 재료의 기계적 성질에 대해서는 많은 연구

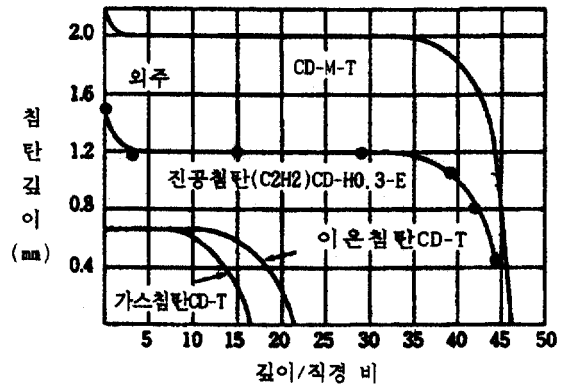


Fig. 5. 한쪽이 막힌 파이프형태 부품의 진공침탄과 다른 침탄의 비교

가 이루어져 있고 피로강도, 내마모성 및 충격특성이 가스침탄에 비교하여 우수한 것으로 알려져 있다. 그러한 이유는 가스침탄과 달리 진공침탄에서는 $H_2O \cdot O_2$ 가 거의 없는 침탄분위기에서 침탄이 이루어지기 때문에 입계산화가 전혀 생기지 않는다. 입계산화가 생기지 않음으로써 파괴의 초기과정의 균열 전파 상태가 개선되고 표면경도가 높게 되어 표면 압축응력이 크게 되는 것 등으로 기계적 성질이 향상된다.

3.2 품질의 균일성

침탄품질의 균일성을 평가하기 위해서는 주로 형상에 의존하는 개개 부품의 얼룩과 바스켓 내의 위치에 영향을 미치는 전체그룹의 얼룩과 장입된 장소에서 그룹간의 얼룩을 조사할 필요가 있다. Fig. 5는 SCM 415 20 ϕ × 182mm의 환봉에서 3.4 ϕ × 156mm의 한쪽이 막힌 파이프형태의 시료를 이용해서 아세틸렌가스에 의해 진공침탄을 실시하여 어느 정도의 깊이까지 침탄될 것인가를 조사해서 그 결과를 가스 침탄, 이온침탄의 결과와 구멍깊이/구멍직경의 비로서 비교하여 나타낸 것이다. 프로판에 의한 진공침탄에서는 펄스상에 가스의 공급과 배기를 반복해서 침탄을 실시하지만 아세틸렌에 비교해서 다량의 그울음을 발생하며 품질도 이온침탄 정도 밖에 되지 않는다. 아세틸렌에 의한 진공침탄은 소공(小孔)속 깊이까지 균일한 침탄이 가능하고 그울음도 거의 발생하지 않는다. 복잡한 형상이라도 균일한 침탄이 가능하다.

바스켓내의 위치에 의한 산포도에 대해서 SCM 415 20 ϕ × 30mm의 환봉에 6 ϕ × 27mm의 한쪽이 막힌

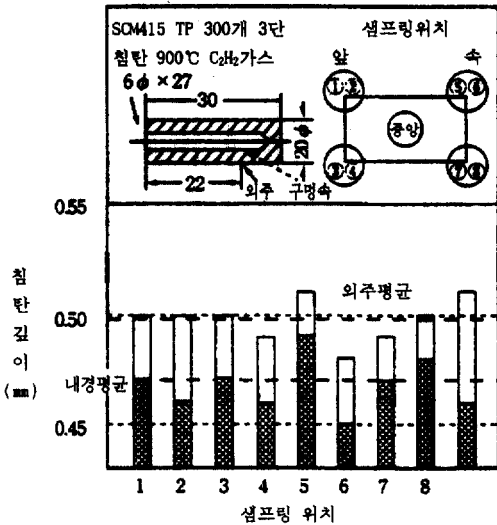


Fig. 6. 외주와 내경 침탄깊이의 산포도

유효침탄깊이 (CDE HV550)

Fig. 7. 전체그룹 사이의 산포도 (46개의 로트)

파이프 형태로 가공한 시료 300개를 서브바스켓 3단에 넣고 아세틸렌가스로 진공침탄을 실시하여 각 위치에서 샘플링 해서 개개부품의 얼룩과 삼입위치에 따른 얼룩에 대해서 조사하여 그 결과를 Fig. 6에 나타냈으며 구멍 속의 침탄깊이 평균은 0.47 mm이고 외주(外周)에서는 0.49 mm로 내외부와 위치에 의한 얼룩의 차이를 종합해도 최대 0.07 mm였다. 그룹사이의 얼룩에 대해서 아세틸렌에 의해 진공침탄으로 동일 열처리조건의 처리품 46로트에 대해서 각 로트별로 가능한 시료의 유효경화층 깊이를 조사한 결과 목표치 ECD 0.55 mm에 대해서 ±0.04 mm 이내에 속하는 것으로 확인되었으며 Fig. 7에 그 결과를 나타내고 있다.

3.3 기타

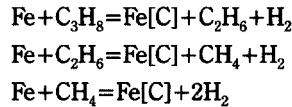
진공침탄로를 이용해서 1회 주기로 납땜과 침탄 혹은 소결과 침탄, 스텐레스강에 대한 침탄을 실시할 수 있다. 고탄소 침탄은 내마모성, 내피칭성이 현저하게 개선된다고 하지만 진공침탄에 의하면 그을음의 폐해도 없이 용이하게 실시할 수 있다.

4. 진공침탄용 가스

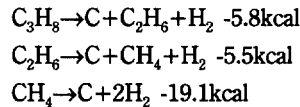
진공침탄에 사용되고 있던 프로판을 아세틸렌으로 대체하면 로내에 퇴적하는 그을음을 대폭 개선 할수 있고, 또 침탄제품의 품질의 향상을 도모할수 있다. 그러한 이유는 다음과 같다.

4.1 포화 탄화수소 프로판의 문제점

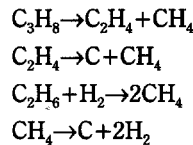
진공중의 가열에 의해 활성화된 표면의 강에 프로판이 접촉하면 탄소가 분리되어 다음과 같은 반응을 거쳐 고급 탄화수소로부터 저급 탄화수소로 분해한다.



공급된 프로판이 이러한 반응상태로 있으면 그을음의 발생은 적고 퇴적도 일어나지 않는다. 그러나 실제로는 대부분의 프로판이 강에 접촉하지 않고 열분해한다.



또,



등의 반응으로 그을음이 되어 로내에 퇴적하게 된다. 프로판의 공급량을 적게 해서 5~2kPa(37~15torr)이하에서 침탄을 실시하면 그을음의 발생을 억제할 수 있지만 침탄으로 인한 [C]원이 부족해서 침탄얼룩이 된다. 또 로내에 발생한 그을음은 미분(微粉)상태로 부유(浮游)하여 미분해의 탄화수소가 강 표면에 접촉하

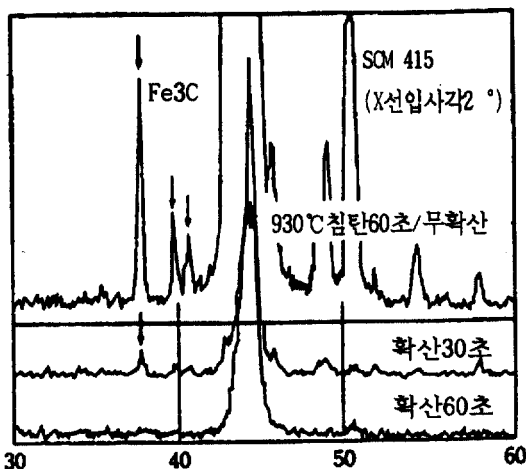


Fig. 8. C₂H₂ 진공침탄의 표면 X선회절

는 것을 저지하게 된다. 그 때문에 로내의 가스를 교반할 필요가 있지만 그때 교반효과가 상승하도록 하기 위해서는 압력을 20kPa(150torr)이상으로 할 필요가 있다. 그 때문에 더욱 다량의 프로판을 공급하지 않으면 안되고 필연적으로 그을음의 발생이 많게 된다. 또 높은 압력으로 유지하게 됨으로써 의해 프로판의 로내 체류시간이 길어 지고 탄화수소의 열분해를 조장해서 더욱 그을음의 발생을 촉진하게 된다. 처리물을 많이 넣을수록, 부품의 형상이 복잡할수록 침탄가스의 공급이 많게 되고 그을음의 퇴적이 많아진다.

프로판의 양을 많이 도입하지 않고 로내의 압력을 올리기 위해 질소를 희석시켜 로내압이 낮지만 가스를 효과적으로 유동시키는 방식중의 하나로 감압(減壓)과 복압(復壓)을 반복하는 펄스, 펌프방식이 있다. 그 외에 발생한 로내의 그을음을 연소 제거하는 로구조, 로내의 그을음이 퇴적하기 쉬운 냉각된 부분이 없는 로구조를 갖는 진공침탄로가 개발되어 있지만 어느 것도 그을음의 폐해를 완전히 해결했다고는 할 수 없다.

4.2 불포화 탄화수소 아세틸렌의 효용

아세틸렌은 불포화 탄화수소 중에서도 특히 반응성이 높은 3중 결합을 가지고 있으며, 주된 반응은 수소를 급속으로 치환해서 금속탄화물(아세틸리드)을 생성시키고 중합반응에 의한 방향족 탄화수소의 생성 및 3중 결합으로의 부가반응시 촉매의 존재하에서 오레핀을 거쳐 포화 탄화수소를 생성시키는 것 등 복잡한 반응이 있는 것으로 알려져 있다. 진공침탄로에 도입된 아세틸

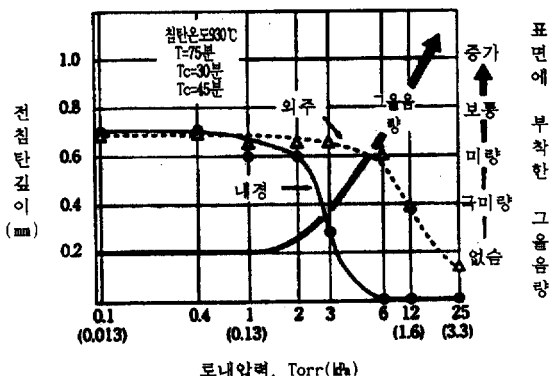
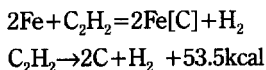


Fig. 9. C₂H₂ 분압에 대한 침탄효과와 그을음

렌은 다음과 같은 반응이 일어날 것으로 추정된다.



진공중에서 가열된 강과 접촉한 아세틸렌은 용이하게 탄소와 수소로 분해하고 탄소는 γ 철중에 고용해서 침탄이 이루어진다.

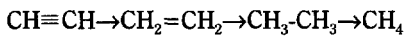
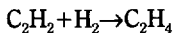
Fig. 8은 930°C의 진공 중에서 가열후, 아세틸렌 분위기에 60초 유지하여 급속히 냉정한 SCM 415 시료의 가장 표면에 대한 X선회절시험을 실시 한 결과이다. 불과 60초의 침탄으로 가장 표면에 Fe₃C가 생성하고 있다. 계속해서 30초와 60초동안 확산시키면 60초의 확산에서 Fe₃C는 감소하였다. S 15C에서도 Fe₃C의 생성이 있었으나 그 양은 SCM 415보다 적다. 또 프로판에서는 나타나지 않았다.

기체와 고체사이에 일어나는 반응을 속도론적인 측면으로 고찰하면 (1) 단일고상으로의 확산, (2) 석출을 수반하는 확산, (3) 화합물 피막의 생성으로 생각 할 수 있다. 표면에 대한 X선회절 시험의 결과로부터 포화 탄화수소 가스의 경우는 (1)의 상태에서 침탄이 이루어지고, 아세틸렌의 경우는 (3)의 화합물피막 Fe₃C를 형성하면서 침탄이 진행되는 것으로 추정된다. 이것은 아세틸렌이 C₂H₂분자중의 π 전자에 의해 철표면으로의 흡착이 일어나기 쉽고 이에 비해 프로판은 무극성에 기인한 것으로 판단된다. Fig. 3에서 프로판에 비교하여 아세틸렌 쪽이 R치가 작은 것은 화합물층(Fe₃C)의 형성을 거쳐 침탄이 진행되는 것에 기인한 것으로 이것은 그을음의 발생이 적은 것과 함께 1kPa이하의 낮은

압력에서 균일한 침탄이 가능한 이유로 생각된다. 그 외에 포화 탄화수소와 같이 흡열반응에 의한 로내온도의 강하, 분해에 수반하는 체적팽창이 없는 것, C/H가 프로판 0.37, 메탄 0.25에 비해서 아세틸렌은 1.00인 것 등도 아세틸렌의 고품질 침탄에 기여하고 있는 것으로 추정된다.

Fig. 9는 아세틸렌 분압에 대한 침탄효과와 그을음의 발생량에 대해서 조사한 결과이다. 열처리조건 이외에는 Fig. 6에 나타난 시험방법과 같고 여러 가지 분압에서 침탄을 30분, 그 후 진공중 확산을 45분 실시하고 로내 냉각한 시료의 구멍 내부와 외주부의 침탄깊이를 조사하였다. 또 그을음의 발생상태는 시료의 표면에 부착한 그을음량을 시각적으로 평가 한다. 1.6~3.3kPa 이상이 되면 그을음은 전면적으로 부착하고 내경은 침탄되지 않고, 외주는 침탄이 되는 부분과 전혀 되지 않는 부분으로 나누어져 얼룩이 발생한다.

또 강의 침탄에 기여하지 않았던 과잉의 아세틸렌은 해리되어 벤젠 그 밖의 타방향족 탄화수소를 생성시킨다. 또 발생한 수소는 아세틸렌과 부가반응하여 에틸렌을 형성하고 더욱 에탄, 메탄 등의 지방족 탄화수소를 생성시킨다.



이들의 반응생성물은 1kPa 이하의 낮은 압력에서 침탄이 이루어지며 그을음이 발생 할 때까지의 시간이 주어지지 않기 때문에 미분해의 아세틸렌과 함께 로외부로 질소로 희석되어 방출된다.

지금까지 고찰한 바와 같이 아세틸렌에 의한 진공침탄은 그을음의 발생이 상당히 적고 그 외에도 고품질의 침탄이 가능하기 때문에 이러한 분야에 대한 계속적인 연구가 이루어지고 있다.

5. 마무리하면서

필자는 20여년간 진공침탄의 개발에 노력해 왔으며, 이번에 아세틸렌에 의한 최대의 문제점을 해결해서 노 구조의 재검토와 노하우 기술을 더해 새로운 진공침탄로를 완성시켰다. 이에 따라 진공침탄이 새롭게 검토되고 넓게 보급되기를 기대하며, 아세틸렌의 적용은 어떤 의미에서는 우연이라고 할 수 있다. 그을음의 문제를 해결하기 위해서 주위에 없는 특수한 가스에 이르기 까지 여러 가지 가스를 진공침탄에 도입하여 시험해 왔다. 가장 주변에서 넓게 사용되고 있는 아세틸렌을 그을음의 발생이 많은 침탄가스에는 사용할수 없다고 하는 선입견 때문에 처음에는 생각도 하지 않았다. 우연한 기회에 분압을 낮게 하여 그을음의 발생을 억제하는 것과 함께 지금까지 얻을 수 없었던 고품질의 진공침탄이 가능한 것을 알게 되었다.

이것을 Serendipity라고 말할수 있다면 Serendipper는 당시의 개발실이다. 아세틸렌의 효용에 대한 고찰은 愛知공업대학 응용화학과로부터 도움을 받았다. 또한 많은 연구자에 의하여 얻어진 보고는 진공침탄의 개발에 큰 도움이 되었으며, 지면을 빌려 감사의 마음을 전한다.