

센서를 이용한 저압 침탄 기술

정인상
경북대학교

Sensor Tracks Low-Pressure Carburizing*

In-Sang Chung

Dept. of Metall. Eng., Kyungpook National Univ. Taegu, 702-701 Korea

1. 머리말

80년대 말부터 열처리 노 내의 침탄 분위기 정보를 피드백(feedback)시켜 자동 제어하는 방법이 적용되었다. 그것은 대부분 센서를 이용하여 분위기 가스 중의 탄소 포텐셜을 점검하여 이를 자동 제어하는 방법이다. 작업 중 온도나 압력이 떨어지는 등 문제가 생기면 제어 프로그램이 자동적으로 작업 사이클 시간을 변경하거나 분위기의 조성을 바꾼다. 이러한 공정의 적용으로 열처리 제품이 더욱 균질하며 불량율을 줄인 결과를 얻을 수 있었다.

그러나 저압이나 진공 침탄 처리를 제어하는 방법에는 이와 같은 센서를 이용하지 못했다. 시중에서 구할 수 있는 탄소 포텐셜 센서는 열역학적인 평형상태가 아니기 때문에 저압이나 진공 상태에서는 적용할 수가 없었기 때문이다.

저압 침탄법이 분위기 침탄법보다 더 효율적이긴 해도 적당한 센서가 없다는 것이 이 방법의 발전을 가로 막고 있었던 셈이다. 그러나 이 자료에서 언급된 철 박막(iron foil) 센서는 이 문제를 해결하는데 도움을 주도적으로 안된 것이다.

2. 저압 침탄 열처리

저압 침탄 열처리의 첫 단계는 그림 1에서 알 수 있

는 대로 진공 펌핑(pumping)이다. 그 후 질소나 진공 분위기에서 처리물을 가열한다. 이 방법은 산소가 없는 분위기를 사용하므로써 내부산화는 염려할 필요도 없고, 열처리 시간도 절약된다.

침탄 온도(약 1000°C)에 도달하면 침탄 가스(프로판 등)를 6 mbar 압력으로 주입한 후 펌핑으로 분위기 압력을 조절한다. 강재의 표면은 아주 빠른 속도로 탄소로 포화되어, 탄화물을 생성할 수 있는 조건이 된다. 그리고 침탄 가스가 적당한 시간에 차단되지 않으면 강재 표면에 거름도 생기게 된다. 처리온도를 유지하면서 노를 다시 펌핑해야 되는 이유가 바로 여기에 있다. 탄소 가스 주입을 차단한 채 계속되는 확산단계에서 탄소는 강제 속으로 더욱 확산 침투되어 간다. 그러므로

그림 1. 여섯개의 boost-diffuse 단계를 가진 전형적인 진공 침탄 사이클.

*이 자료는 Advanced Materials & Processes (ASM international) 4(2000) H19에 수록된 내용이다.

탄소의 침투 깊이를 더 깊게 하기 위해서는 이러한 boost-diffusion 단계의 숫자를 더 많이 해야 할 것이다.

3. 센서의 원리

그림 2는 센서의 동작원리를 보여주는 그림이다. 얇은 철 박막으로 된 한 쪽은 침탄 가스 분위기에 노출되어 있고, 다른 쪽은 탈탄 분위기에 노출되어 있다. 정상상태에 도달하면 이 센서에서 나타나는 현상이 침탄 처리하는 동안 강재 속으로 탄소가 확산되는 것과 마찬가지로 간주된다.

우선 작업 분위기 가스의 압력을 결정해 보자. 이를 위해 그림 3과 같이 특수한 장치를 개발하였다. 질소와 침탄 가스가 혼합된 셀 내에 한 쪽이 이들과 접촉되도록 철 박막을 설치하고, 이 박막의 다른 면은 탈탄 가스 분위기가 되도록 한다. 탈탄 가스의 흐름은 가스에 아주 감도가 좋은 catharometer나 열전도도 감지기(thermal conductivity detector)로 점검한다.

Catharometer에 기록된 신호의 강도는 초기에는 일정하지만 침탄 가스가 주입된 직후에는 수 초안에 급격히 증가한다. 이것은 탈탄 반응에 의해 탈탄 가스 속에 일

산화 탄소(CO)나 메탄(CH₄)과 같은 새로운 종류의 분자가 생성되었다는 증거이다. 침탄이 중지되면 이 신호의 강도는 아주 천천히 처음 크기로 떨어질 것이다.

4. 실험 결과

처음 연구한 공정인자는 침탄 단계에서의 작업 시간이다. 그림 4에 나타내었듯이 이 신호의 최대치는 10초에서 230초에 이르는 여러 침탄 시간에도 불구하고 모두 같으나 처음 크기로 신호 강도가 떨어지는데 필요한 시간만 침탄 시간이 길수록 길어지는 것을 알 수 있다.

이 신호의 최고치는 탈탄 속도에 의해 결정되며, 이 속도에 비례한다. 각 곡선의 아래 부분 면적은 철 박막을 통해 확산된 탄소의 양을 나타낸다. 이 값을 시간과 센서의 표면적으로 나는 값이 바로 평균 탄소 유량이다(표 1참조). 이 유량은 탈탄 과정 초기에는 아주 크지만 강재표면이 탄소원자로 포화되기 시작하면서 갑자기 감소한다. 이 결과는 침탄 처리 공정 사이에 반드시 확산 공정 단계가 필요하다는 것을 설명해 주고 있다.

다음에는 가스 조성을 결정하기 위해 혼합가스로 실험하였다. 박막은 다른 종류의 가스 조성을 사용하여 20

그림 2. 센서의 작동 원리.

그림 3. 압력 분위기에서 센서를 이용하는 실험 장치.

초간 침탄 처리 되었다. 기록된 신호의 크기는 모든 경우에 동일하였다. 이것은 실험에 사용된 모든 혼합가스가 모두 침탄에 충분한 탄소를 공급하였다는 것을 의미한다. 혼합가스 중 침탄 가스의 조성 농도를 줄임으로써 신호가 낮은 것도 얻을 수가 있으며, 그러한 실험을 통해서 최적의 혼합가스 조성을 찾을 수가 있다. 가스 조성이 너무 높으면 과잉 침탄이 되고, 반대로 너무 낮으면 침탄 속도가 너무 느리게 된다.

최적의 가스 조성이 일단 결정되면 침탄 공정 수를 늘릴 수도 있다. 실제로 이 경우에는 강제 표면에서 탄소의 침투 속도와 강제 속에서 탄소의 확산속도가 거의 같을 때에 정상상태가 얻어지는 것을 확인하였다.

이 방법을 2단 침탄 사이클 공정에도 적용하여 보았다. 즉 저농도 침탄 가스(C₁)에서 25분간 처리한 후, 고농도 침탄 가스(C₂)에서 70분간 처리하는 2단 처리이

다. 그림 5에서 알 수 있는 대로 강제 표면에서 탄소의 침투(흡수)되는 속도가 전체 공정을 제어하는 한계 인자가 된다. 이것은 아주 중요한 사실을 나타내 주고 있는데, 적어도 이 실험에서만일지라도 확산 단계 공정은 더 이상 중요하지 않고, 이 공정이 생략되어도 침탄에는 문제가 없다는 것을 의미하고 있다.

표 1. 침탄 시간의 영향.

침탄 시간, s	탈탄 시간, s	평균 유량, mg/ h/cm ²
10	552	30
25	648	15
35	738	13
45	780	11
70	906	8.6
230	1050	3.3

그림 4. 분위기 압력하에서 철 박막 센서를 통한 탄소의 확산. 숫자는 침탄시간. 각 곡선 아래의 면적은 탄소의 양에 비례한다.

그림 5. 각기 다른 최적 가스 조성과 시간을 사용한 2단 침탄처리. 이 방법에서는 확산 단계를 생략할 수도 있다.

그림 6. 저압 진공로에 사용할 센서 장치의 모양. 철 박막 파이프 내부는 탈탄가스가 흐르고, 왼쪽 노 내부의 파이프 바깥은 침탄 가스에 노출되어 있다.

그림 7. 실제 저압 진공로에 장착된 센서로 기록한 신호.

그러나 2단 사이클은 현장에 작용하지 않았다. 왜냐 하면 표에서 알 수 있는 대로 초기에 고농도의 침탄 가스를 사용하고 나중에 분위기의 침탄력을 줄이는 것이 더 좋은 결과를 나타내고 있기 때문이다.

5. 진공로에서의 시험

분위기 압력을 사용한 실험 결과를 바탕으로 현장의 진공로 내에 센서를 부착하여 기록되는 신호가 저압 가스 침탄의 결과와 같게 되는가를 확인하는 시험을 하였다. 센서의 부착은 그림 6에 보여 준 것처럼 얇은 두께의 철 파이프를 이용한 것이다. 파이프의 바깥은 침탄 가스 분위기에 노출되어 있고, 내부로는 탈탄 가스가 흐르게 한 것이다.

진공로 내에 설치한 센서의 반응은 분위기 압력을 갖춘 연구실의 노에서 나타낸 결과와 똑같은 결과를 보여 주었다. 그림 7에서 알 수 있는 것처럼 센서의 신호는 분위기 내의 침탄가스의 농도(즉 일종의 탄소 포텐셜)에 비례하고 있다.

6. 마무리말

이 자료에서 설명한 새로운 센서는 침탄 열처리 공정에서 아주 유용한 수단이며, 연구실에서 여러 가지 침탄 가스 분위기의 영향을 연구하는데 아주 유용하다. 또한 저압 침탄 처리에 이 센서를 적용하여 확산 단계 공정이 필요 없는 열처리 사이클을 채택할 수가 있다는 것도 확인하였다.