

플라즈마 침탄처리

이 상 윤

동아대학교 금속공학과

Plasma Carburizing Treatment

S. Y. Lee

Department of Metallurgical Engineering, Dang-A University.

1. 서 론

플라즈마가 열처리분야에 사용되기 시작한 시기는 1960년대 중엽이었으며 플라즈마 질화처리(plasma nitriding)에 처음 적용하여 질화반응이 효과적으로 일어나고 정밀하게 제어할 수 있음이 입증되었고, 1970년대에 이르러 공업적으로 널리 사용되면서 플라즈마 침질탄화처리(plasma nitrocarburizing)에도 적용하게 되었으며 현재 열처리공업국에서 많이 사용하고 있다.

플라즈마 침탄처리(plasma carburizing)는 오스테나이트화 온도(austenitizing temperature)에서 플라즈마 상태의 가스 분위기로부터 탄소의 질량이동이 기술적으로 가능하고 재현성이 있으며 침탄반응이 열처리부품 표면에서 효과적으로 일어남이 확인됨으로써 1970년대 말엽에 사용하기 시작하였다.

플라즈마 침탄처리는 분위기 가스로부터 부품 표면에 탄소가 이동하는 현상이 가스 및 진공 침탄처리와 다르며 이 질량이동의 차이점은 높은 에너지를 가진 글로우 방전과정(glow discharge process)에서 일어나고 저압에서 수소 또는 불활성 가스와 혼합된 메탄가스를 침탄가스로 사용할 수 있다.

일반적으로 표면경화처리되는 부품의 80% 이상이 침탄처리되는 사실로 볼 때 플라즈마 침탄처리의 개발은 대단히 중요한 의의를 갖는다.

플라즈마 과정의 기본원리는 이미 잘 알려져 있다. 플라즈마 침탄이 가스 및 진공 침탄에 비해서 보다 효과적으로 탄소가 부품 표면에 이동하는 현상을 그림 1에서 도식적으로 간단히 나타내었다.

그림 1(a)의 현상은 진공침탄이나 가스침탄에서 일어나며 가스분자가 가열된 부품 표면에 접촉할 때 반응이 일어난다. 물론 가스 분자가 가열 표면쪽으로 향하여 이동함으로써 표면에서 압력이 증가하여 부분적으로 강제 대류현상이 일어나서 부품으로부터 열손실이 일어난다고 볼 수 있다. 반면에 (b)에서는 전기장이 형성됨으로써 높은 에너지를 가진 가스 분자가 부품표면으로 이동하여 글로우 방전 분위기에서 부품 표면에 도달하는 이온이나 분자의 수는 일반 진공 분위기에서 보다 훨씬 더 많음을 알 수 있으므로 플라즈마 침탄이 더 효과적인 표면경화법이며, 따라서 비교할 수 있는 가스 압력에서 침탄속도가 글로우 방전 분위기에서 훨씬 더 빨리 일어난다.

그림 1의 (b)로부터 음극강하 영역(cathode fall region)에서 전기장이 영향을 받아 부품 표면으로 향하는 탄소를 함유하는 가스층이 농축되어 구성된 글로우 방전 분위기가 형성되기 시작하며 표면에서 스퍼터링(sputtering)이 일어나서 깨끗한 계면을 형성하여 탄소가 부품 표면을 이동하는데 용이하게 한다. 이러한 탄소 이동으로 인하여 음극강하 영역으로부터 줄어 든 탄소원자는 침탄분위기 가스로부터 확산에 의해 공급받으면서 침탄이 계속된다.

2. 플라즈마 침탄과정

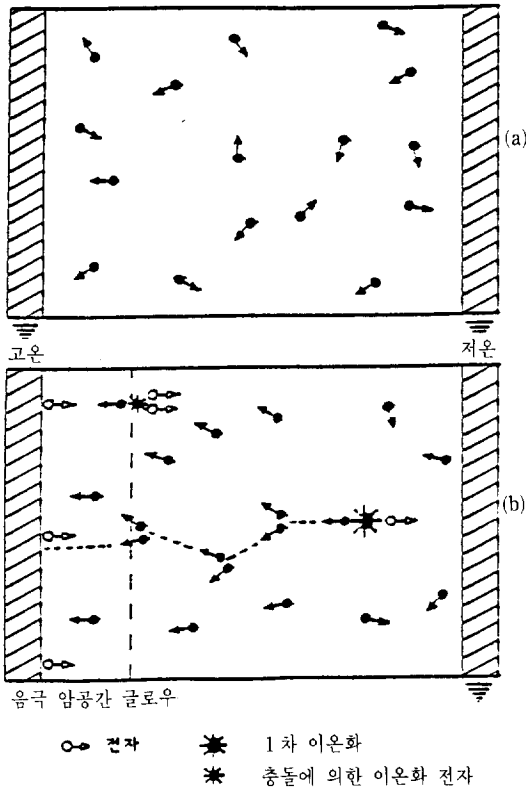


그림 1. 진공침탄(a)에서 원자이동과 플라즈마 침탄(b)에서 음극으로 원자이동의 비교.

플라즈마 침탄 중 가스 압력은 1~20 mbar의 저압이며 메탄이나 프로판과 같은 침탄제로서 탄화수소 가스의 사용량이 적으며 이는 단지 전기장을 형성시켜 줌으로써 가스 압력이 낮아도 침탄반응을 효과적으로 일으켜 침탄가스의 사용량을 보통 10 l/h 이하로 많이 줄일 수 있다.

부품을 필요한 온도로 가열하기 위하여 비정상 글로우 방전(abnormal glow discharge)의 영역에서 전압과 전류의 크기를 적절하게 유지하여 충분한 전력을 표면에 공급해야 하며 플라즈마 침탄은 플라즈마 질화와 달리 일반적으로 850~950℃ 온도 범위보다 훨씬 더 높은 온도에서 실시되므로 높은 값의 방전 전력이 필요하며 따라서 비정상 글로우 방전 영역의 상한계 값 부위에서 침탄해야 하므로 경우에 따라서 글로우에서 아아크(arc)의 발생이 일어날 우려도 있다. 이러한 아아크 발생으로 인하여 부품 표면의 손상을 방지하기 위하여 급속자동제어장치를 설치하여 사용한다. 그러나 플라즈마

침탄에서 안정한 방전 출력을 얻기 위하여 보조 가열장치를 설치하여 열에너지를 보충하고 동시에 노내 가열 영역에서 온도 분포의 균일성을 유지하고 글로우 방전의 입력 전력의 조정 범위를 크게하여 가열 효과를 향상시킬 수 있다.

3. 플라즈마 침탄 열처리장치

플라즈마 침탄 사이클은 침탄 후 확산 및 급냉과정이 수반됨으로써 플라즈마 질화와의 다른 구조를 가진 열처리로를 사용해야 한다. 플라즈마 질화에 있어서는 글로우 방전에 의하여 부품을 가열하지만 플라즈마 침탄의 경우는 진공로 내에서 일반 가열 방법인 발열체를 사용하여 부품을 가열하는 것이 가열실 내의 온도를 균일하게 하고 가열시간을 단축할 수 있다. 그림 2는 가열실(heating chamber)과 전실(prechamber)을 가진 플라즈마 침탄로이며 전실에서 부품을 가열실로 운반해 넣거나 또는 가열실로부터 운반해 내오는 역할을 하고 전실 아래에 오일 쿨링탱크(oil quenching tank)가 연결되어 있어서 침탄처리된 부품을 공기의 접촉없이 노 내에서 쿨링할 수 있다. 가열실과 전실 사이에 진공상태를 유지할 수 있는 개폐문이 설치되어 두 실을 분리시키고 로를 필요에 따라 열 수 있다.

플라즈마 침탄처리에 사용되는 가스는 산소가 함유되지 않는 가스를 사용하기 때문에 플라즈마 침탄처리된 층은 내부산화가 전혀 없으며 침탄 후 재연마의 필요성이 없다. 운반장치는 모두 유압식으로 가동되고 플라즈마 침탄 사이클을 위하여 특별히 개발된 컴퓨터 프로그램을 사용하는 마이크로 프로세서(micro-processor)에 의해서 그림 3과 같이 제어된다. 따라서 노내에 부품을

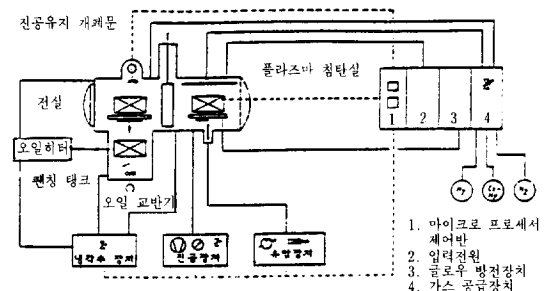


그림 2. 플라즈마 침탄로.

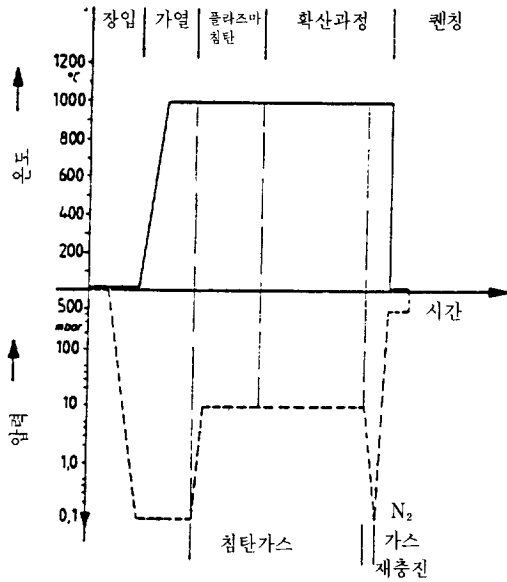


그림 3. 플라즈마 침탄 사이클.

장입한 다음 전실 내의 압력을 진공장치에 의해서 0.1 mbar로 하여 내부 개폐문을 열고 부품을 가열실로 이송한다. 부품을 침탄 사이클에 따라 침탄온도로 가열한 다음 가열실 내의 가스 압력이 그림 3에 나타난 바와 같이 10 mbar에 이르자마자 글로우 방전이 가동되며 플라즈마 침탄반응이 일어난다. 계획된 침탄시간이 경과하면 글로우 방전 전력원이 닫히고 마이크로 프로세서에 의하여 제어된 확산과정이 필요한 침탄깊이를 얻을 수 있을 만큼 진행되고 가열 사이클이 끝나면 로내에 질소가스를 다시 채우고 부품을 전실로 이송시킨 다음 퀵냉시킨다.

4. 플라즈마 침탄처리된 부품의 탄소 및 경도 변화

메탄과 수소 혼합가스의 압력을 10 mbar로 유지하여 950°C에서 30분~4시간 동안 플라즈마 침탄처리했을 때 표면층에서 탄소농도 변화곡선은 일반적으로 그림 4에서 보는 바와 같으며 메탄가스의 분압이 매우 낮으나 표면에서 탄소량이 빨리 증가함을 알 수 있다. 그림 5는 순철, 연강 및 침탄강(AISI 8620)을 일정한 처리조건에서 플라즈마 침탄했을 때 얻어진 탄소농도 변화곡선을 비교하여 나타낸 것이며 연강과 침탄강의 경우 서로 비슷한 결과를 나타내고 순철에 비해서도 침탄깊이

는 다소 차이가 있으나 표면층에서는 거의 차이를 나타내지 않으며 따라서 플라즈마 침탄처리는 재료 조성에 크게 영향을 받지 않고 비교적 일정한 경화깊이를 형성한다.

플라즈마 침탄은 여러가지 재료표면에 탄소를 빠른 속도로 증가시키므로 침탄과정 직후의 여러가지 재료표면에 탄소를 빠른 속도로 증가시키므로 침탄과정 직후의 표면탄소량이 너무 많아서 적절한 기계적 성질을 얻기에 적합하지 않다. 따라서 침탄과정 후 확산과정에 의하여 표면탄소를 재분포시켜 표면탄소량을 감소시키고

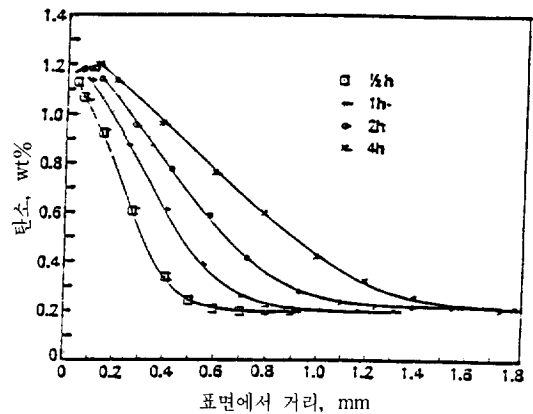


그림 4. 플라즈마 침탄 후의 탄소농도 변화곡선.

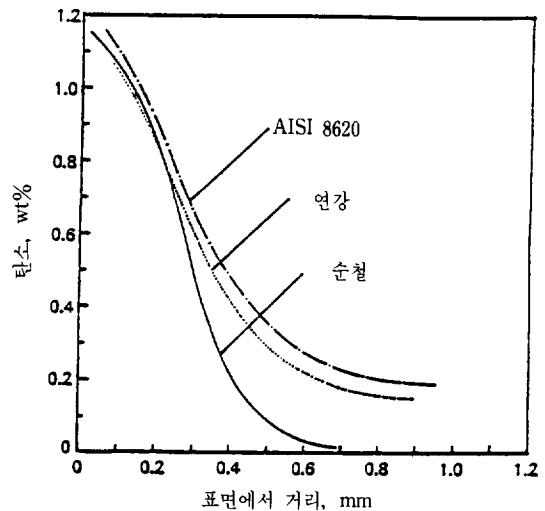


그림 5. 일정한 처리조건에서 플라즈마 침탄했을 때 얻어진 순철, 연강 및 침탄강의 탄소변화 곡선의 비교.

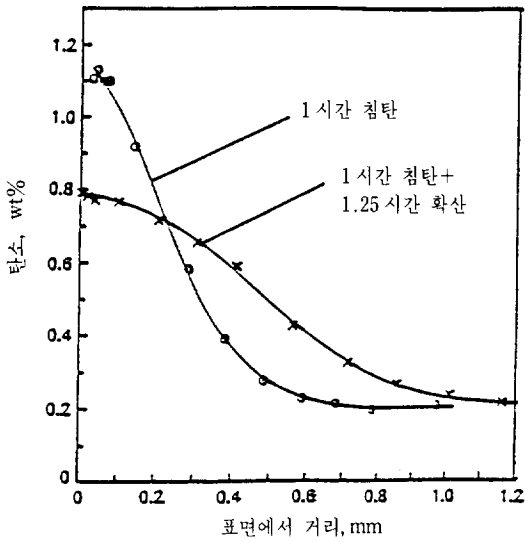


그림 6. AISI 8620 강을 925°C에서 1시간 동안 플라즈마 침탄했을 경우와 침탄 후 1시간 15분 동안 확산과정을 두었을 경우의 탄소량 변화곡선.

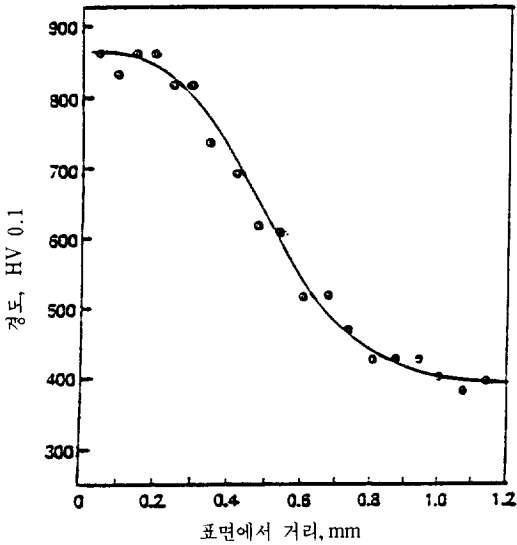


그림 7. 플라즈마 침탄-확산과정 후의 경도 변화곡선.

확산깊이를 증가하여 부품의 필요한 기계적성질을 얻도록 한다.

그림 6은 플라즈마 침탄처리를 925°C에서 1시간 동안 했을 때와 침탄 후 1시간 15분 동안 확산과정을 두었을 때의 탄소량의 변화곡선을 나타낸 것이며 확산과

정에 의해서 표면탄소량이 0.8%로 감소되면서 확산깊이가 많이 증가되었음을 알 수 있다. 이 침탄-확산과정에 의해서 얻어진 경도변화 곡선은 그림 7에서 나타낸 바와 같이 표면경도와 경화층 깊이가 일반 부품에 적합하며 따라서 플라즈마 침탄-확산 사이클에 의해서 쉽게 필요한 경도변화 곡선을 얻을 수 있다.

5. 가스 및 진공침탄처리와의 비교

연강을 가스침탄 및 플라즈마 침탄처리 했을 때 얻어진 탄소농도 변화곡선을 비교하기 위하여 처리조건을 달리하여 그림 8에 나타낸 것이다. 이 결과로부터 플라즈마 침탄의 경우 같은 처리온도에서 침탄속도가 더 빠르며 표면탄소 농도가 훨씬 더 높고 농도구배가 크기 때문에 확산속도가 보다 빠르게 일어난다. 이는 글로우 방전의 음극 암공간 영역에서 탄소의 질량이동이 강제 표면으로 활발히 일어나기 때문이며 처리온도가 증가하면 확산속도가 빨라지고 침탄가스의 분해속도가 증가하므로 처리시간을 단축할 수 있다. 925°C에서 가스 침탄 처리하여 유효경화층 깊이 1.5mm 정도 되는 탄소농도 변화곡선을 얻었을 경우와 같은 크기의 곡선을 플라즈마 침탄처리에 의하면 처리시간을 적어도 50% 줄일 수 있다. 진공침탄과 플라즈마 침탄처리와의 비교를 위하여 나타낸 탄소농도 변화곡선은 그림 9와 같으며 진공 침탄은 침탄가스의 압력에 따라 확산침투된 탄소량이 많이 달라짐을 알 수 있다.

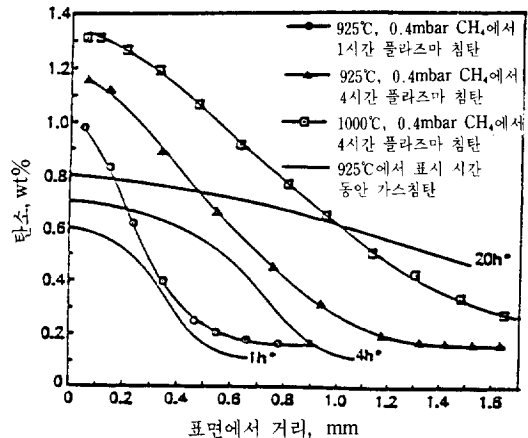


그림 8. 가스침탄 및 플라즈마 침탄처리 된 연강으로부터 얻은 탄소농도 변화곡선의 비교.

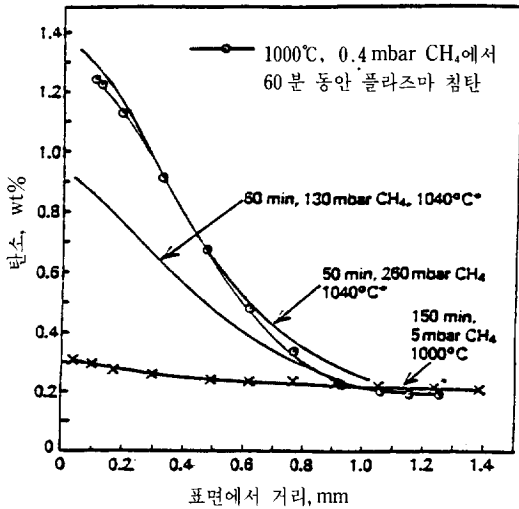


그림 9. 진공침탄 및 플라즈마 침탄처리된 침탄강의 탄소농도 변화곡선의 비교.

메탄가스 분위기에서 진공침탄하는 경우 가스압력이 적어도 130 mbar가 되어야 탄소원자가 강제 표면을 통하여 확산해 들어가며 압력이 증가하면 표면 탄소농도가 증가한다. 플라즈마 침탄처리와 같은 가스압력에서 진공침탄하면 침탄 효과가 별로 없음을 알 수 있다. 플라즈마 침탄에서 0.4 mbar의 메탄가스압력은 진공침탄에서 260 mbar의 압력과 유사한 탄소농도 변화곡선을 얻을 수 있으며 따라서 플라즈마 침탄에 사용된 가스압력은 진공침탄에 사용된 것에 비해서 100분의 1보다 더 적음을 알 수 있으며 플라즈마침탄의 우수성을 인정할 수 있다.

6. 전 망

플라즈마 침탄처리는 국내에서 현재 가장 많이 사용

하고 있는 가스침탄이나 또는 도입단계에 있는 진공침탄에 비해서 보다 효과적인 표면경화법이라고 생각되며 그 장점을 몇 가지 열거하면 다음과 같다.

1. 탄소가 부품 표면으로 빨리 확산해 들어가므로 침탄처리 시간을 많이 단축할 수 있다.
2. 침탄-확산 사이클에 의해서 균일하고 필요한 크기의 경화층 깊이와 표면경도를 쉽게 얻을 수 있다.
3. 복잡한 형상의 부품 표면에 따라 균일한 경화층을 얻으며 정확하게 자동 제어할 수 있다.
4. 가스 및 에너지 소모량을 감소시킬 수 있다.
5. 변형이 적고 후처리 가공이 거의 필요 없다.
6. 공해문제가 전혀 없다.
7. 처리 부품의 표면상태가 깨끗하다.

이상 열거한 장점을 보아서 플라즈마를 이용한 침탄처리법은 질화 및 침질탄화처리에 이어서 적용할 필요가 있으며 플라즈마 표면경화 처리의 기술개발이 요망된다.

7. 참고문헌

1. B. Edenhofer, Heat Treatment of Metals, Vol., 1, 1974, p.23.
2. B. Booth, T. Farrell and R.H. Johnson, Heat Treatment of Metals, Vol. 10, 1983, p.45.
3. F. Hombeck and W. Rembges, Heat Treatment 1984, p.51. 1.
4. P. Collignon and F. Ribet, Heat Treatment 1984, p.49. 1.
5. J.G. Conybear, Heat Treating, March, 1988, p.24.
6. M.H. Jacobs, Heat Treating, Jan, 1985, p.38.