

特輯 : 구조용재료 및 부품의 표면특성 향상기술

플라즈마질화법에 의한 강의 표면개질

Surface Modification of Iron-alloy Steels by Plasma Nitriding Process

朴和淳 · 姜晶允 · 中田一博

Hwa-Soon PARK, Chung-Yun KANG and Kazuhiro NAKATA



박화순/부산공업대학교/1955년생/용융용접 야금 및 열원의 용융에 의한 표면개질 분야



강정윤/부산대학교/1953년생/용접야금 : 접합 및 열원의 용융에 의한 표면개질 분야



中田一博 (Kazuhiro NAKATA)/大阪大學 溶接工學研究所/AI합금의 용접성, 표면개질 및 플라즈마재료 프로세싱 분야

1. 서 언

현대산업사회에 있어서, 재료의 고기능·고수명화 등에 대한 요구가 더욱 높아짐에 따라서, 재료 표면의 개질(改質) 기술에 대한 중요성이 한층 주목을 받고 있다. 표면개질중에서 재료 그 자체의 기본적인 성질은 변화시키지 않고 표면의 경도만을 증가시켜, 그 재료의 내마모성등을 향상시키는 표면경화처리법은, 오래전부터 많은 연구가 수행되어져 왔으며, 또한 현재의 표면개질기술의 중심이 되어 있다. 일반적으로 금속재료의 표면경화처리법은 표면에 경질(硬質)의 물질을 피복하는 코팅법과, 침탄법이나 질화법과같이 금속표면으로부터 다른 원소를 확산침투시켜 재료표면 그 자체를 경화시키는 확산침투법으로 대별할 수 있다¹⁾. 이들 코팅법과 표면확산침투법은 각각 장단점을 가지고 있으나, 표면확산침투법은 박리성, 처리코스트 등의 관점으로부터, 금속재료에 대한 표면경화법으로서 공업적으로 널리 보급되어 있다.

표면확산침투법에 의한 표면경화법중에서, 질화법은 주로 철강재료에 적용되는 침탄법에 비하여

비교적 저온에서 처리가 가능하며, 변형이 적기 때문에 정밀부품에도 응용이 된다. 또한 내피로성 및 내식성도 향상하는 등의 장점을 가지고 있으므로, 1923년 Fry²⁾에 의하여 암모니아가스질화법이 개발된 이래 지금까지 널리 사용되고 있다³⁾. 그러나 가스질화법은 질화처리에 장시간을 요하며, 표면에 취약한 ζ -Fe₂N상이 생성되기 때문에 질화 후 표면의 연마가 필요하다는 결점을 가지고 있다. 그리고 염욕질화법의 경우는 질화속도가 빠르다는 장점을 가지고 있으나, 시안염 또는 시안산염을 사용하기 때문에 환경오염에 대한 각별한 주의가 요구되는 결점을 가지고 있다⁴⁾. 이러한 가스 및 염욕질화법의 결점 등을 해결하기 위하여 플라즈마질화법(Plasma Nitriding Process)이 개발되었는데, 이 방법은 저압의 분위기중에서 글로우(glow)방전을 이용하여 질소가스를 이온화하고, 그것을 음극의 피처리물의 표면에 충돌시켜 질화처리를 하는 방법이다. 이 방법은 1944년 Bennek 등⁵⁾에 의하여 시도가 된 것으로, 질화층의 취화(脆化)방지 및 질화시간의 단축등이 인정되었는데, 그 실용화는 최근이라고 할 수 있다.

철강재료에 대한 플라즈마질화법의 적용 예는

지금까지 많은 연구결과가 나와 있는데, 탄소강이나 저합금강의 경우는 그 표면경도가 Hv400~900, 고합금강의 경우는 Hv1000이상의 경도를 얻을 수 있으며, 내마모성도 향상한다^{6~11)}고 알려져 있다. 그리고 플라즈마질화처리에 의한 질화층의 형성기구나 화합물층 및 확산층의 생성에 관여하는 처리 조건의 영향, 질화층의 경도 및 깊이에 대한 합금 원소의 영향등이 어느 정도 밝혀져 있다^{12~16)}. 그리고 스테인레스강의 경우는 그 표면에 견고한 산화 피막을 형성하기 때문에 염욕질화나 가스질화법에 의한 처리가 일반적으로 곤란하다. 그러나 플라즈마질화처리에 의하면, 분위기를 질소와 수소의 혼합가스로 함으로서 특별한 전처리를 하지않고도 질화처리가 가능한 것으로 알려져 있다^{17~20)}. 또한 철강재료 이외의 비철금속에 대한 플라즈마 질화처리의 적용이 검토되었으며, 질화물을 형성하기 쉬운 Ti와 그 합금, Zr, Al 그리고 Va, VIa족 원소의 경우는 Hv1000이상의 경도가 얻어진다는 것과 최적 질화조건등이 보고되어져 있다^{21~23)}. 또한 질화물을 형성하지 않는 금속, 즉 Ni나 Cu합금 등에 대하여도 Ti, Al 등의 질화물생성원소를 첨가하여 플라즈마질화법에 의한 표면경화특성도 검토되고 있다^{24, 25)}.

본 해설에서는, 탄소강, 탄소저합금강 등의 철강재료를 중심으로하여 플라즈마질화처리한 경우의 표면경화특성에 대하여 서술하고자 한다.

† 플라즈마방식에 의한 질화법은 현재 여러 용어로서 불려지고 있는데, 예를 들어, 플라즈마질화법, 이온질화법, 플라즈마() 이온질화법등이 그것이다. 본 해설에서는 플라즈마질화법으로 부르기로 한다.

2. 플라즈마질화법의 특징

그림 1¹⁷⁾ 및 2에 철강재료를 대상으로 한 플라즈마질화의 원리 및 장치의 개략도를 나타내었다. 플라즈마질화처리법은 N₂가스를 포함하는 130~1300Pa의 저압 분위기중에서 피처리물을 음극으로 하고, 진공용기의 벽을 양극으로 하여 양극(兩極)과의 사이에 수100V의 직류전압을 인가하여 글로우(glow) 방전을 발생시키고, 글로우중에서 이온화

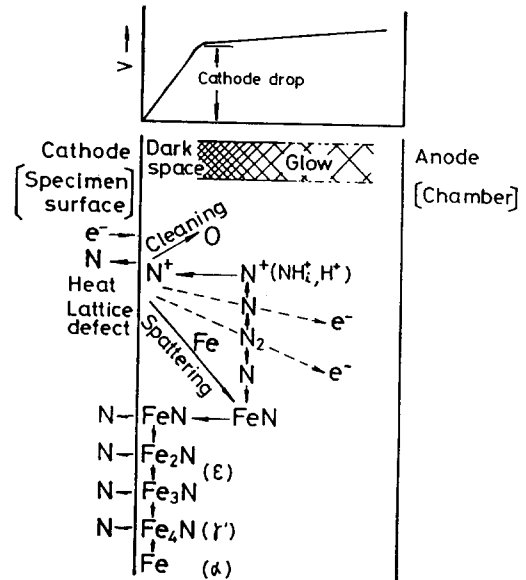
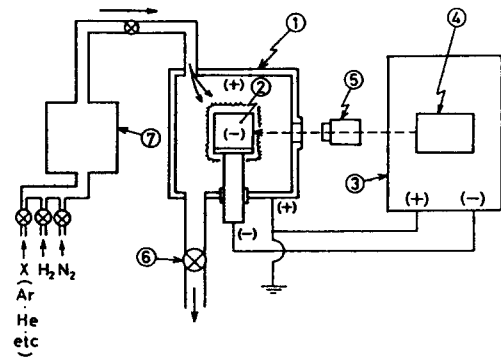


그림 1 플라즈마질화법에 의한 질화기구의 예



- 1 Vacuum furnace
- 2 Workpiece
- 3 Electric unit
- 4 Temp. regulating device
- 5 Optical pyrometer
- 6 Vacuum pump
- 7 Gas mixture

그림 2 플라즈마질화장치의 개략도

된 N⁺, H⁺, N₂⁺, H₂⁺, NH_(0+1~3)⁺ 이온이 음극강하 전압에 의하여 가속되어 피처리물의 표면에 충돌 하므로서 질화를 행하는 표면경화법이다. 이 때 이온의 운동에너지는 열에너지로 변환되며, 음극은 표면으로부터 균일하게 가열되기 때문에, 히터는 필요하지않다. 그리고 충돌과 동시에 음극의

표면물질의 일부는 스파터링작용에 의하여 표면으로부터 분리되어 나오는 클리닝효과를 얻게되며, 이로 인하여 질소의 확산이 용이하게 된다.

플라즈마질화법에 의한 질화층의 형성기구는 크게 두가지로 설명을 하고 있는데, 그림 1에 나타난 바와같이 철강재료에 대한 설명은 다음과 같다. 글로우방전중에 형성된 질소이온은 방전중의 음극강하부에서 가속되어 피처리물에 충돌한다. 이때 피처리물의 표면원자의 일부는 스파터되며, 동시에 그 표면은 가열된다. 스파터된 표면원자중에서 Fe원자는 글로우방전중의 활성질소와 결합하여 FeN을 형성하고, 피처리물의 표면에 흡착·퇴적하여 표면에 아주 얇은 화합물층을 형성한다. FeN은 불안정한 질화물이기 때문에 보다 질소농도가 낮은 질화물로 용이하게 분해한다. 이때 방출된 질소가 철중으로 확산하여 질화물층이나 질소의 확산층을 생성시켜 질화층이 형성되어 간다. 그리고 또 한가지의 기구는, 글로우방전중에 형성된 질소이온등이 피처리물의 표면 및 표면 근방에 직접 침투하여, 피처리물원자의 질화물층을 형성하고, 그 후 이 질화물층을 통하여 내부로 질소가 확산해 들어 감으로서 질화층이 성장하여 가는 것으로 설명하고 있다. 이것은 Ti이나 Zr 등의 플라즈마질화처리시의 질화층 형성기구로서 제안되어져 있다^{21, 22)}.

표 1에 플라즈마질화법과 종래의 질화법을 비교하여 나타내었다. 본 법은 종래법에 비하여 탈공해, 성(省)에너지, 시료의 변형관계 등에 있어서 많은 우수한 점을 가지고 있다.

표 2에는 현재 사용되고 있는 대표적인 플라즈마질화의 적용부품을 나타내었다.

4. 플라즈마질화처리한 강의 제성질

4.1 질화층의 경도 및 깊이

표 3에는 각종 금속재료의 플라즈마질화후의 경화상태의 예를 나타내었다. 질화처리에 의한 경화율(HvS/HvB)은, 철강의 경우 약 1.5~4.0정도를 나타내고 있으며, 스테인레스강의 경우는 6.0~7.0으로 경도의 증가가 현저하다. 또한 질화층의 깊이는 철강 및 스테인레스강의 경우는 100 μ m 이상을 나타낸다. 그림 3²⁶⁾는 S15C에 대하여 플라즈마질화처리에 의하여 형성된 질화층의 조직의 예를 나타낸 것이다.

질화처리는, 일반적으로 철강이나 스테인레스강의 경우는 Fe-N계에 있어서의 $\alpha+\gamma$ -Fe₄N 공석 온도인 590 $^{\circ}$ C이하에서 행하여지며, 고융점금속이나 Ni, Co기합금에서는 보다 고온에서의 처리가

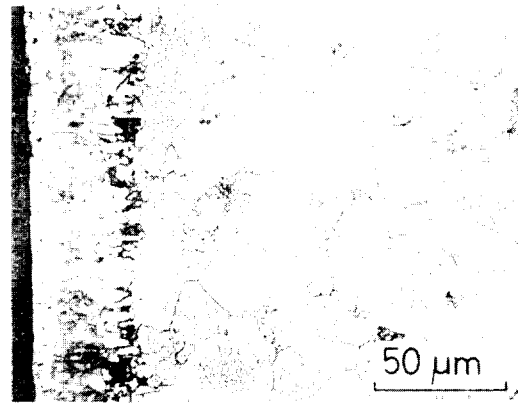


그림 3 플라즈마질화처리에 의하여 형성된 질화층의 조직의 예; S15C

표 2 플라즈마질화법의 적용부품의 예

자동차	엔진	크랭크샤프트, 캠샤프트, 각종 기어 등
금	형	압출용, 인발용, 단조용, 프레스용, 다이캐스트용, 분발합금용, 플라스틱성형용
공	구	바이트, 카터, 드릴 등
압연기	기	로울, 드라이브축 등
공작기계	계	주축, 피니언, 기어 등
사출성형기	기	사출성형용스크류, 실린더, 프렌지 등
기	타	유압기계부품, 선박용부품, 소결재, 주철 등

표 1 플라즈마질화법과 종래의 질화법의 비교

		플라즈마질화법	염욕질화법	가스연질화법	가스질화법
원	리	진공로내에서 glow방전을 일으켜 N ₂ , H ₂ 및 다른 가스를 단독 또는 혼합가스분위기에서 질소를 확산시킨다. NH ₃ 가스의 경우 2NH ₃ →N ₂ +3H ₂	XCN, XCNO, X ₂ CO ₂ (X: 알칼리금속) 용액에서의 반응에 의한 N, C의 확산. (예) air 2XCN+O ₂ →2XCNO 열분해 2XCNO→CO+2N+X ₂ 2CO→C+CO ₂	RX가스 50% NH ₃ 가스 50%의 분위기중에서 N, C를 강에 확산. 2NH ₃ →2N+3H ₂ 2CO→C+CO ₂	NH ₃ 가스분위기중에서 N을 확산시켜 친질소원소와 질화물을 생성 2NH ₃ →2N+3H ₂
적용강종		전강종	전강종	전강종	질화강
처	온도	350~570℃ (일반)	560~280℃	560~580℃	500~540℃
	열원	방전현상보다 자연	외부전기가열	외부전기가열	외부전기가열
리	시간	15min~20h (일반)	15min~3h (일반)	15min~6h (일반)	40min~100h (일반)
	질화제	N ₂ , H ₂ , 침탄성의 단독 또는 혼합가스	XCN, XCNO (X: 알칼리금속)	RX가스, NH ₃ 가스	NH ₃ 가스
조	부분질화	대단히 용이			어렵다
	관리	방전전압, 전류, 용이	솔트조성, 분석이 비교적 곤란	NH ₃ 의 분해도, 노점, 보통	NH ₃ 의 분해도 보통
건	변형	극소	소	비교적 적다	약간 있다
	처리후 세정	불필요	안전 실시 요망	요망	불필요
공해	배수, 유처리	불필요	필요	필요	불필요
	유독, 유해물질	전혀없음	폐솔트	연소가스	연소가스
작업환경		대단히 좋다	불량	보통	보통
다성공		전혀없음	생성 용이	생성 가능성	없음
최표면층의 단상화		γ', ε의 단상화 가능	불가	불가	불가
소비량	(1) 가스 (2) 염욕	(1): 극소	(2): 보통	(1): 많음	(1): 많음
	전력	중	많음	많음	많음

적합하다. 또 분위기의 환원작용 때문에 수소가 10~50% 정도 혼합되는데, Ti 등과같이 수소취화를 나타내는 재료의 경우에는 순 N₂중에서 행할 필요가 있다.

4.2 질화층의 해석

표 4에 탄소강, 탄소저합금강 및 질화강에 대해

여 플라즈마질화, 가스연질화, 염욕침탄질화법 및 NH₃가스질화처리를 한 시료에 대한 XRD의 결과를 나타내었다. 플라즈마질화처리의 25%N₂의 경우는 S15C, S45C, SCM3는 γ' 단상을 나타내고 있으며, SACM1에서는 γ' 와 ε의 혼합상을 나타내고 있다. 그리고 80%N₂의 경우는 S15C는 γ' 단상인데, 그 외의 강종에서는 모두 γ' 와 ε의 혼합상을 나타내고 있다. 그리고 가스연질화의 경우는 ε 단상을

표 3 각종 금속재료의 플라즈마질화후의 표면경화 상태

재 료		처 리 조 건 온도(℃)×시간(h) 압력(Torr)×가스	경 도 (Hv)			경화층 깊이 (μm)
			표면경도 (H _{VS})	모상경도 (H _{VB})	경화율 (H _{VS} /H _{VB})	
비철합금	Ti	900×1×6×(Pure N ₂)	850	190	4.5	20
	Ti6Al4V		860	330	2.6	≤20
	V		600	260	2.3	200
	Mo		1020	280	3.6	10
철 강	S15C	500×4×5×(N ₂ :H ₂ =4:1)	200	120	1.7	600
	SCM440	500×4×5×(N ₂ :H ₂ =4:1)	620	300	2.1	200
	SACM1	500×5×5×(N ₂ :H ₂ =1:3)	1200	320	3.8	100
스테인레스강	STS304	500×3×6×(N ₂ :H ₂ =1:1)	1300	210	6.2	95
	STS430		1170	160	7.3	115
Ni 합금	In-600	700×3×6×(N ₂ :H ₂ =1:1)	780	250	3.1	<20
	In-713C		830	390	2.1	<20
Co기 합금	UMCo	650×3×6×(N ₂ :H ₂ =1:1)	1000	350	2.9	30

표 4 질화처리한 각종 강재의 표면 생성층에 대한 XRD 결과

강 재 생성층	플라즈마질화 25% N ₂				플라즈마질화 80% N ₂				가 스 연질화	염욕 침탄 질화	NH ₃ 가스 질화
	S15C	S45C	SCM3	SACM1	S15C	S45C	SCM3	SACM1	S15C	S15C	SACM1
α-Fe(110)	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
γ'-Fe ₄ N(200)	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
ε-Fe ₄ N(111)	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
ε-Fe ₂₋₃ N(101)				○		○	○	○	○	○	○
ε-Fe ₂₋₃ N(002)				○		○	○	○	○	○	○
ε-Fe ₂₋₃ N(100)				○		○	○	○	○	○	○

나타내고 있다.

표 5는 XRD의 결과로부터 γ'와 ε 각 상의 적분 강도를 측정 한 값을 나타낸 것이다. 이 결과에 의 하면, 플라즈마질화의 25%N₂에서는 S15C, S45C, SCM3의 표면은 전부 100% γ'상을 나타내고 있다. 플라즈마질화 80%N₂에서는 S15C는 100% γ'상을 나타내고 있는데, S45C, SCM3, SACM1에서

는 γ'의 양이 88.1%에서 69.9%로 점차 감소하여 ε상이 증가한다. SACM1에 대하여 γ'의 양을 비교 하면, 동일한 플라즈마질화 처리의 경우에도 N₂가스의 혼합비가 적은 경우가 γ'의 양이 많고, N₂가스의 혼합비가 큰 쪽은 γ'의 양이 적은 만큼 ε의 양이 상대적으로 증가하고 있다. 이들의 결과로부터 질화층의 질소의 농도는 NH₃가스질화>플라즈마질

표 5 질화처리한 강의 γ' 및 ϵ 각 상의 적분강도비

	γ' (200)	ϵ (100)	$\gamma' + \epsilon$	$\frac{\gamma'}{\gamma' + \epsilon} \times 100$	$\frac{\epsilon}{\gamma' + \epsilon} \times 100$
	(mm ²)	(mm ²)	(mm ²)	(%)	(%)
플라즈마 질화 25% N ₂ S15C	474	0	474	100	0
플라즈마 질화 25% N ₂ S45C	363	0	363	100	0
플라즈마 질화 25% N ₂ SCM3	371	0	371	100	0
플라즈마 질화 25% N ₂ SACM1	304	66	370	82.2	17.8
플라즈마 질화 80% N ₂ S15C	320	0	320	100	0
플라즈마 질화 25% N ₂ S45C	333	45	378	88.1	11.9
플라즈마 질화 25% N ₂ SCM3	321	74	395	81.3	18.7
플라즈마 질화 25% N ₂ SACM1	520	224	744	69.9	30.1
가스연질화 S15C	0	220	220	0	100
염욕침탄 질화 S15C	0	188	188	0	100
NH ₃ 가스 SACM1	286	182	468	61.1	38.9

표 6 각종 질화처리에 의한 S50C의 인장시험 결과

	미처리	플라즈마질화 20% N ₂	플라즈마질화 80% N ₂	염욕침탄질화	가스연질화
인장강도 kg/mm ²	75.19	73.87	69.88	65.02	64.13
감 소 율 %	0	1.75	7.06	13.52	14.70
신 율 %	34.28	23.14	21.14	13.42	11.42
감 소 율 %	0	32.49	38.33	60.85	66.68
R. A %	53.3	21.97	15.97	6.50	6.50
감 소 율 %	0	58.78	70.03	87.80	87.80

화(80%N₂)>플라즈마질화(25%N₂)의 순으로 적어지는 경향을 보이고 있다. 그리고 플라즈마질화, 가스연질화, 염욕침탄질화에 대하여 γ' 의 양을 비교하여 보면, 플라즈마질화에 비하여 가스연질화 및 염욕침탄질화의 경우가 질소 이외에 탄소도 동시에 표면으로부터 확산 침투하기 때문에 γ' 상의 생성이 억제되며, ϵ 상이 비교적 용이하게 생성되는 경향을 나타내고 있다.

4.3 강인성

플라즈마질화는, 전술한 바와같이 표면경화층의 생성을 용이하게 조절할 수가 있으며, 질소가스가 양적으로 적은 분위기에 있어서는 γ' 단상을 생성시키는 것도 가능하다. 그러나 다른 종래의 질화법의 경우에는 γ' 단상을 형성시키는 것은 불가능하다. γ' 상은 결정구조가 면심입방정(FCC)이기 때문에 일반적으로 인성이 풍부한 것으로 알려져 있다. 그러므로 종래의 질화법과 비교하여 인성의 개선이라는 관점에서 주목을 받고 있다. 그 한 예로서, S50C에 대하여 플라즈마질화 및 중

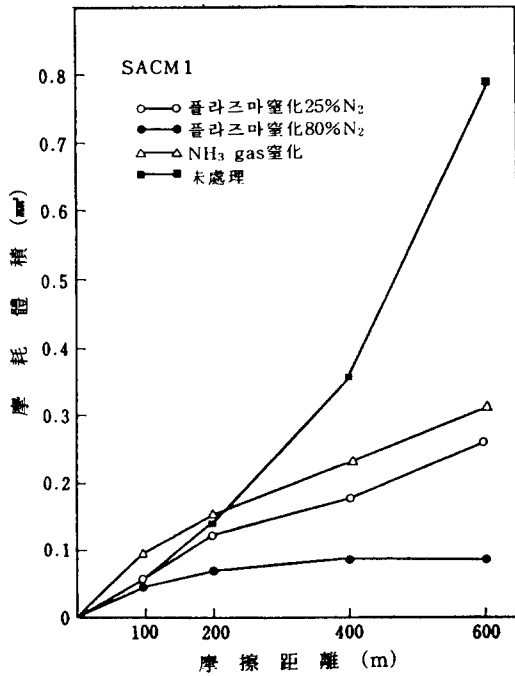


그림 4 플라즈마 및 NH₃ 가스질화 처리한 SACM1의 마찰거리와 마모량의 관계

래의 질화법에 의하여 처리된 인장시험의 결과를 미처리재의 경우도 포함하여 표 6에 나타내었다. 이 결과에 의하면, 미처리재의 경우와 비교하여 보았을 때 플라즈마질화처리된 경우는 신률에 대한 감소율이 적고, 질화처리에 의한 인성의 저하가 거의 없으나, 종래법의 경우는 현저하게 인성이 저하하고 있는 것을 알 수 있다.

4.4 내마모성

플라즈마질화에 있어서, 각종 처리조건의 변화에 따라서 표면층은 화합물층의 경우 γ' 및 ϵ 단상, 및 γ' 와 ϵ 의 혼합상이 생성한다. 그러므로 이들 화합물층의 생성 및 그 조성과 내마모성의 변화에 대하여 종래의 질화법과 비교하여 보았다.

그림 4는 Ogoshi식 마모시험의 결과로서 마찰속도를 0.94m/sec로 일정하게 하고, 마찰거리를 100~600m로 변화시켜서 마찰거리와 마모체적의 관계를 나타낸 것이다. 플라즈마질화처리에 의하여 내마모성이 현저하게 개선되어 있는 것을 알 수

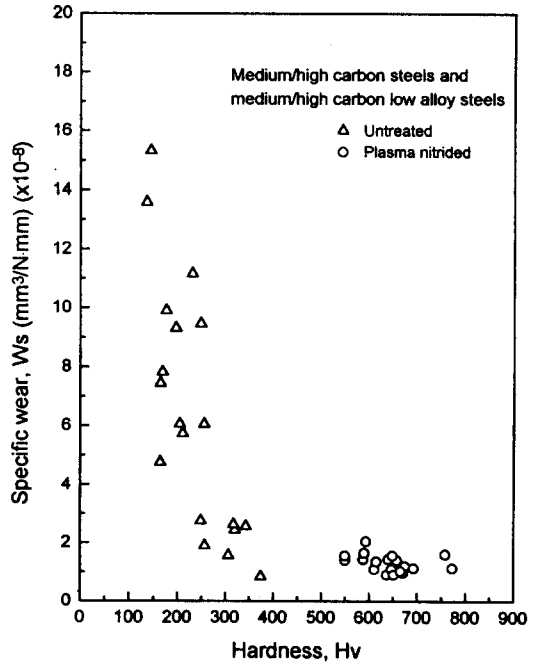


그림 5 시판 중, 고탄소강 및 그 저합금강 19종에 대한 플라즈마질화처리후의 표면경도와 비마모량의 관계

있다. 그리고 질소가스의 혼합비가 높은 쪽이 낮은 쪽에 비하여 더욱 우수한 내마모성을 나타내고 있으며, 마찰거리가 증가하여도 마모량의 증가가 거의 발생하지 않는 것을 알 수 있다. S15C의 경우에 있어서도 거의 동일한 결과를 얻을 수 있었으며, 다른 질화법의 결과와 비교하였을 경우, 거의 동일하거나 우수한 내마모성을 나타내었다. 그리고 이러한 질화법에 따른 내마모성의 차이는 γ' 와 ϵ 상의 양적인 관계에 따른 질소농도 등의 차이에 의한 것으로 생각된다. 그림 5²⁰⁾는 시판되고 있는 중, 고탄소강 및 중, 고탄소저합금강의 19종을 사용하여 플라즈마질화처리한 후의 표면경도와 비(比)마모량과의 관계를 미처리재의 경우와 비교하여 나타낸 것이다. 마모시험에는 Ogoshi식마모시험기를 사용하였으며, 질화처리에 의한 경도의 증가와 함께 내마모성이 현저하게 개선되는 것을 알 수 있다.

그리고 플라즈마질화처리에 의한 마찰속도와 비마모량과의 관계를 종래의 질화법의 경우와 비교한 경우에 있어서도, 탄소강 및 질화강의 어느 경

우에도 질화처리에 의하여 내마모성이 현저하게 증가하였으며, 전(全)마찰속도에 있어서 거의 동등한 값을 나타내는 경향을 보인다. 또한 질화처리재의 경우는 마찰속도에 대한 의존성도 크게 감소하는 경향을 나타내며, 특히 질화강의 경우에는, 전마찰속도에 있어서 일정한 값을 유지하는 우수한 내마모성을 나타낸다.

4.5 피로강도

종래의 질화법은, 그 특성으로서 내마모성 및 내피로성이 우수한 표면경화법의 하나로 알려져 있다. 플라즈마 질화법은 전술한 바와같이, 많은 우수한 특징을 가지고 있으며, 특히 금속학적인 관점에서 질화형성층을 처리조건에 따라서 조절할 수 있다는 것을 들 수 있다. 그러므로 실제 플라즈마 질화법을 각종 부품에 적용하는 경우에는 사용되는 부품의 부하(負荷)성을 고려하여, 그에 적합한 질화생성층을 얻는 처리조건을 선택할 필요가 있으며, 이에 따른 내피로성에 대하여 종래의 질화법의 경우와 비교검토하였다. 구조용강의 경우를 예로들어, 각종재질에 플라즈마질화처리한 경우의 피로강도의 변화를 미처리재의 경우와 비교하여 그림 6 및 표 7에 나타내었다. 이 결과에 의하면, S15C, S45C, SCM3에 있어서는 확산층의 경도 및 모재 자체의 경도가 큰 순서로 피로한계가 증가하는 경향을 나타내며, 플라즈마질화처리에

표 7 플라즈마질화처리한 각종 재질의 피로한의 상승비

재 질	처 리	피로한 (kg/mm ²)	피로한 상승비
S15C	미 처 리 재 프라마질화 25% N ₂	24	1.00
		39	1.63
S45C	미 처 리 재 프라마질화 25% N ₂	28	1.00
		43	1.54
SCM3	미 처 리 재 프라마질화 25% N ₂	42	1.00
		62	1.48
SACM1	미 처 리 재 프라마질화 25% N ₂	38	1.00
		61	1.60

의하여 현저하게 피로강도가 개선된다. 그리고 피로강도는 그 확산층의 경도 및 조직의 변화에 영향을 받는데, 그 이유는 α -Fe에 고용한 질소가 슬립을 저지하기 때문이며⁶⁾, 고용량이 많을수록 피로강도가 크다. 그리고 고용력층에서 그 차가 현저하게 나타나는 것은, 경도가 상승한다는 것과 슬립선을 따라서 석출하는 질소가 한층 더 슬립을 저지하는 효과를 조장하는 작용을 하기 때문이라고 생각된다.

종래의 질화법과 플라즈마질화처리에 의한 피로강도를 비교한 결과에 의하면, 어느 경우도 미처리재에 비하여 약 70%의 피로상승한계를 나타내는 우수한 피로강도를 보이고 있다. 그리고 처리방법의 차이에 따른 피로강도의 변화는 거의 없으며, 대체로 동일한 값을 나타낸다. 한편 질화강의 경우에는 플라즈마질화의 경우가 종래의 질화법에 비하여 약간 양호한 피로강도가 얻어지는데 그 차는 크지 않다.

플라즈마질화는 전술한 바와같이 가스질화와 비교하여 질화층의 시료의 표면이 활성화되므로 질화반응이 비교적 활발하게 일어나게 되고, 따라서 질화속도도 크게 증가한다. 그러므로, 질화층의 경도분포에서도 나타나는 바와같이, 플라즈마질화에 의하면, NH₃가스질화처리의 약 1/3정도의 단시간처리로 NH₃가스질화처리의 경우와 동일한 피로강도를 얻을 수 있다.

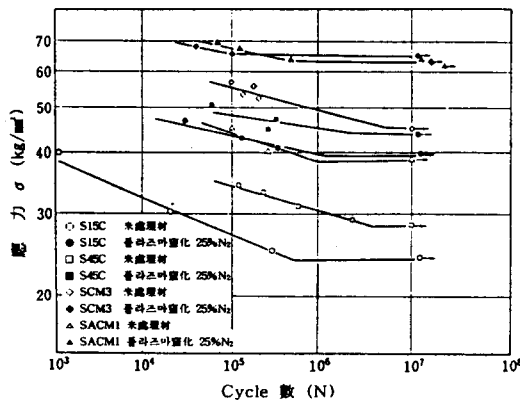


그림 6 플라즈마 질화처리한 각종 재질과 미처리재의 피로강도의 비교

5. 결 언

강의 표면경화처리법의 하나인 플라즈마질화법

은 종래의 질화법과 비교하여 무공해, 성(省)에너지 면에서 뿐만 아니라 변형도 작다고 하는 많은 우수한 장점을 가지고 있는 처리방법으로서, 독일 및 일본등지에서는 이미 실용화되어 현재 공업적으로 널리 사용되고 있다. 그리고 소재가 가지고 있는 제성질을 보다 고기능화·다기능화하는 재료의 하이브리드화에 따른 경쟁적 관계로부터, 플라즈마질화처리와 관련된 다각도의 연구의 진행 및 그 실용화에 대한 응용범위의 확대가 한층 더 요구되고 있다.

그리고 플라즈마방식에 의한 표면개질은 이미 실용화되어 있는 질화, 침탄질화(plasma soft-nitriding), 침탄뿐만 아니라 보론화 및 침유(浸硫 또는 침황)법등도 활발하게 검토되고 있다. 그러므로 플라즈마방식을 이용한 표면개질은 전술한 우수한 특성과 함께 확산원소와 모재와의 적절한 조합에 의하여 새로운 기능을 가지는 표면개질층을 다양하며 용이하게 얻을 수 있는 처리법으로서 그 전망이 매우 밝다. 그러나 우리나라의 경우는, 본 방식에 의한 연구 및 실용화가 아직은 부족한 것으로 사료된다. 따라서, 금속재료의 표면개질 관련 분야에 종사하는 산업체의 관련자 및 연구자들의 관심이 한층 더 요망된다.

참 고 문 헌

1. 中田一博, 松田福久: 溶接學會誌(日本), 57-4(1988), p. 224-229
2. A. Fry: Stahl. U. Eisen., 43(1923), p. 76
3. 松澤ら: ツルエンジニア11(1987), p. 76
4. 赤澤ら: 鐵と鋼, 49-10(1963), p. 1494
5. H. Bennek und O. Rudiger: Arch. Eisenhüttenw., 18(1944), p. 61
6. 喜多ら: 日本金屬學會誌, 37-1(1973), p. 3
7. 廣瀬ら: 金屬材料, 13-4(1973), p. 85
8. 喜多ら: 日本金屬學會誌, 38-7(1974), p. 854
9. 喜多ら: 金屬材料, 15-7(1975), p. 26
10. 宇野ら: 日本金屬學會誌, 41-3(1977), p. 225
11. 浦尾ら: 表面技術(日本), 41-5(1990), p. 566-569
12. V. A. Phillips et al.: Trans. Met. Soc. AIME, 242-11(1968), p. 2415
13. A. U. Seybolt: Trans. Met. Soc. AIME, 245-4(1969), p. 769
14. 曾根ら: 熱處理, 24-6(1984), p. 316
15. 枝村ら: 日本金屬學會誌, 42-10(1978), p. 936
16. 枝村ら: 日本金屬學會誌, 42-10(1978), p. 942
17. 山中久彦: "イオン窒化法", 日刊工業新聞社, 1984
18. 高瀬ら: 日本金屬學會誌, 40-7(1978), p. 663
19. 廣瀬ら: 熱處理(日本), 14-1(1974), p. 15
20. 中田, 國見, 朴, 松田: 熱處理(日本), 35-5(1995), p. 288-294
21. M. Liu: High Temp. Sci., 10-1(1978), p. 53
22. B. Comchob: 高融點被覆, 日ソ通信社(1973), p. 151
23. F. Matsuda et al.: Trans. JWRI, 12-2(1983), p. 111
24. 松田, 中田, 眞喜志, 木谷: 溶接學會論文集(日本), 9-2(1991), p. 311-317
25. 中田, 眞喜志, 塔本, 松田: 表面技術(日本), 44-11(1993), p. 944-949
26. 曾根: "大阪府立大學學位論文", 1983