

플라즈마 이온 질화 표면처리의 윤활 및 마모 특성

좌성훈 · 김선교 · 박주승*

삼성전자 기술총괄, *국립기술품질원

Tribological Characteristics of Plasma Ion Nitriding Surface Treatment

Sung Hoon Choa, Seon-Kyo Kim and Joo Seung Park*

Samsung Electronics Co,

*National Institute of Technology and Quality

Abstract— Scuffing and severe wear of the highly stressed sliding components have been very critical problems in the development of a rotary compressor. In order to improve durability and reliability of the compressor, plasma ion-nitriding was applied on the shaft and the vane surface. The effects of different treatment conditions on the mechanical and tribological properties of the ion-nitrided surfaces were investigated. Ion-nitrided surfaces showed better tribological performances than untreated surfaces. The best wear performance was observed when the shaft was nitrided in the condition of 450°C, 7 hours, N₂:H₂=1:4 gas mixture by forming a ductile nitrided layer which has γ' phase microstructure. As nitrogen gas pressure increased, ϵ phase layer was formed. This hard phase layer was observed to be more beneficial for the vane in reducing friction and wear.

Key words—plasma ion nitriding treatment, rotary compressor, accelerated wear test.

1. 서 론

기계의 각종 기능부품 등에 사용되는 재료는 외력에 의한 큰 응력이나 재료 상호간의 심한 마찰 등과 같은 가혹한 조건으로 극한마모 및 파손현상을 나타내고 있다. 따라서 재료의 내마모성 향상을 통한 기계 부품의 수명을 연장시키려는 노력이 행해지고 있는데 이러한 노력 중의 하나가 재료의 표면처리 기술이다. 기계의 기능부품에 대한 표면처리는 주로 내마모성, 내식성, 내피로성 등의 기계적 성질을 향상시키고자 하는 목적에서 적용하고 있으며, 특히 철계재료의 표면부에는 탄소나 질소 등을 확산 침투시켜 표면을 경화시키는 침탄처리나 질화처리를 널리 행하고 있다. 플라즈마 이온질화법은 종래의 염욕질화나 가스질화법에 비하여 부공해, 보재의 극소 변형, 저에너지소비 등의 장점이 있으며, 특히 조밀하고 다공층이 없으며 요구되는 조건에 맞는 서로 다른 질화층을 선택, 생성

할 수 있으므로 사용용도에 맞는 내마모 표면조작을 얻을 수 있는 장점이 있다[1,2]. 이온질화처리는 주로 내마모성이 문제가 되는 엔진 부품 및 타이밍 기어, 변속기 기어 등에 적용되고 있으며 공구강의 내마모 및 절삭성을 향상시킬 목적으로 이용되기도 한다.

본 연구에서는 에어콘용 로타리압축기의 신뢰성을 향상시킬 목적으로 압축기 부품에 이온질화처리를 적용하여 보았다. 현재 에어콘용 로타리압축기의 개발 방향은 주로 인버터 모터를 사용한 고용량, 고효율 압축기의 개발에 중점을 두고 있다. 이러한 압축기의 개발시 가장 문제가 되는 점은 신뢰성의 확보이다. 압축기 내부에서 마모가 문제가 되는 부분은 Fig. 1과 같이 샤프트와 베어링, 베인과 롤러 부분이다. 샤프트와 베어링사이에는 유체윤활(hydrodynamic lubrication) 조건에서 상대운동하는 부분이며 인버터 모터를 사용할 경우, 샤프트의 저속 회전 또는 변속시에 베어링과 샤프트 사이에 오일 공급이 제때에 이루어지지 않아 유

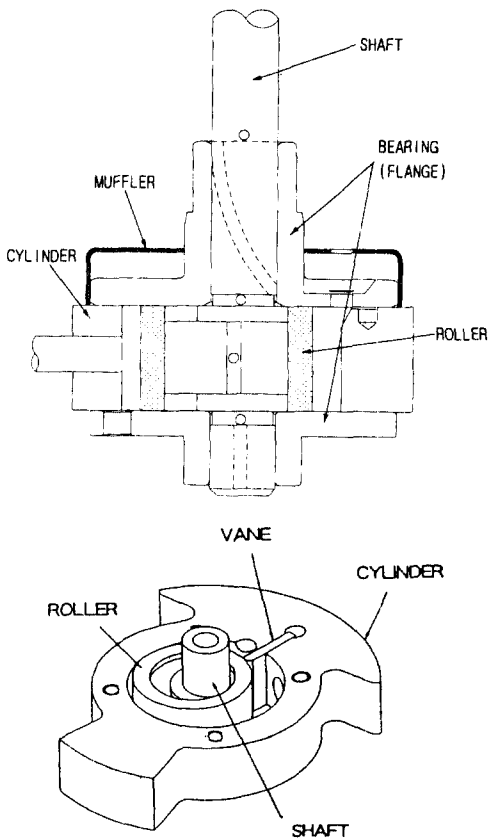


Fig. 1. Schematic configuration of the rotary compressor.

체윤활막의 생성이 완전히 못하게 되어 과도한 마모가 발생되고 기동이 정지되는 locking 또는 scuffing 현상이 발생할 확률이 높다. 현재 샤프트의 표면에는 초기 마찰을 저감시킬 목적으로 인산염 피막처리를 하고 있으나 scuffing 현상을 방지할 정도의 충분한 내마모성을 갖고 있지는 않다. 한편 베인과 롤러부는 압축기 내부에서 가장 과도한 습동조건, 즉 경계윤활 (boundary lubrication) 조건에서 상대운동하는 곳으로 scuffing 현상보다는 점진적인 마모가 발생하는 곳이며, 마모가 심할 경우 접촉면간에 누설이 발생하여 압축기의 소비전력을 증가시키고 성능을 저하시키는 문제를 발생시킨다. 따라서 베인과 롤러사이의 마모를 줄이기 위한 재료의 변경 및 여러 코팅의 적용이 현재 활발히 연구되고 있다[3,4]. 한편 베인과 롤러사이의 경계윤활조건에서는 냉매의 역할이 중요한데 이는 현재 사용되고 있는 R22 (또는 HCFC: hydrochlorofluo-

rocarbon) 냉매에 포함되어 있는 염소분자(Cl)가 경계윤활이 존재하는 습동부위의 금속표면과 화학적인 반응을 하여 금속표면 위에 극압윤활작용을 하는 보호막(iron chloride)을 형성함으로써 마찰 및 마모를 줄여 주는 것으로 알려져 있다[5,6]. 최근 들어 환경보호 측면에서 염소(Cl) 분자를 포함하고 있지 않은 신냉매를 사용하려는 추세에 있는데 이 경우 베인과 롤러의 마모가 크게 증가하게 된다. 따라서 본 연구에서는 압축기 개발 방향의 추세에 맞추어 신뢰성을 확보하는 방안의 하나로 비교적 많은 장점을 갖고 있는 질화처리를 적용하여 그 가능성 및 문제점을 검토하였다. 한편 질화처리는 샤프트와 베어링부의 경우는 샤프트에, 베인과 롤러부의 경우는 베인에만 적용하였으며 이는 샤프트와 베인이 상대재질에 비하여 경도가 높고 비교적 질화처리가 용이한 형상이기 때문이었다. 샤프트와 베인은 재질, 습동조건 및 마모형태도 각기 다르므로 질화처리의 조건도 서로 달라야 한다. 본 연구에서는 각 재질에 적합한 최적의 질화조건을 찾기 위하여 여러 질화처리 조건에서 생성된 질화막의 기계적 성질 및 미세조직을 분석하였다. 또한 질화조건에 따른 마찰마모 특성을 고찰하기 위하여 가속마찰마모 시험을 행하였다.

2. 이온질화 재료의 특성

로타리압축기 부품에 이온질화처리를 적용하기 위해서는 우선 질화처리를 할 경우에 발생하는 치수변형을 고려해야 한다. 가령 샤프트와 베어링간의 허용간격은 최대 7~8 μm 이나, 간격이 너무 넓으면 압축력이 떨어지고 간격이 너무 좁으면 구동력이 증가함으로 적정한 간격의 유지가 필요하다. 그러나 샤프트에 이온질화처리를 할 경우 μm 단위의 치수변형이 발생할 가능성이 있으므로 질화조건에 따른 치수변형을 관찰함과 동시에 치수변형의 주요 인자들을 고찰함으로써 이온질화에 따른 치수변형의 안정화 방안을 모색하였다. 한편 질화조건에 따른 질화표면의 기계적 성질의 변화를 고찰하기 위하여 경도 및 조도를 측정하였다. 경도는 Micro-Vicker 경도기로 하중을 100g으로 하여 측정하였으며, 조도는 Talyor-Hobson 조도기를 이용하여 측정하였다. 이온질화층의 미세조직 분석은 시편을 경면연마하여 3% Nital액으로 부식한 후 화합물층 및 확산층을 광학현미경으로 관찰하였으

며, 이온질화층의 상분석은 X선 회절분석기를 이용하였다. X선 회절분석은 Cu target을 사용하여 50 kV, 100 mA의 조건으로 분석하였다. 질화조건은 질화온도(300~500°C), 질화시간(2~10시간) 및 가스조성($N_2/H_2=1/4\sim 2/1$)을 변화시키며 설정하였다.

2-1. 질화변수에 따른 치수변형

질화변수에 따른 치수변형에 대해서는 샤프트 재질에 대하여 중점적으로 분석하였는데 이는 샤프트의 치수변형 및 표면상태가 신뢰성에 많은 영향을 미치기 때문이다. Fig. 2는 가스조성 $N_2:H_2=2:1$ 의 조건에서 질화온도를 300~500°C로 변화시키면서 각 온도에서 10시간 유지했을 때의 주철 샤프트의 지름 팽창과 화합물층의 두께 변화를 나타내고 있다. 온도가 높아질수록 지름팽창으로 인한 치수변형은 커지고 있으며 화합물층의 두께도 Fig. 3에 보이는 것처럼 증가하고 있다. 질화온도 300°C까지는 화합물층도 보이지 않고 치수변형도 없지만, 400°C 이상에서는 화합물층의 출현과 더불어 치수변형이 나타나는 것으로 미루어 치수변형과 화합물층 두께 사이에는 상관관계가 있

을 것으로 추정된다. Fig. 4는 질화온도 450°C, 가스조성 $N_2:H_2=2:1$ 의 질화조건에서 질화시간에 따른 샤프트의 지름팽창과 화합물층 두께 변화를 나타낸 것이다. 질화시간이 길어질수록 지름팽창과 화합물층 두께가 증가하는 경향임을 알 수 있다. 질화시간이 짧은

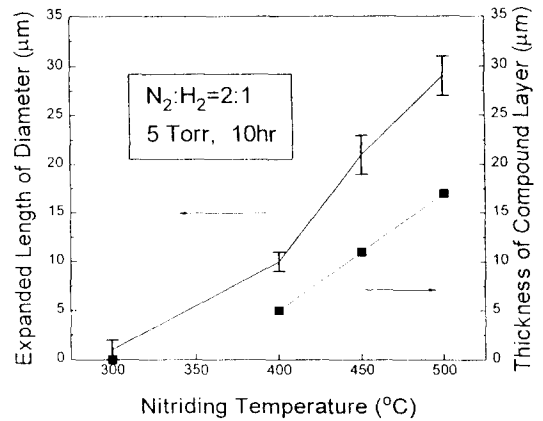


Fig. 2. Change of shaft diameter and thickness of compound layer with increase of treatment temperature ($N_2:H_2=2:1$, 5 Torr, 10hr).

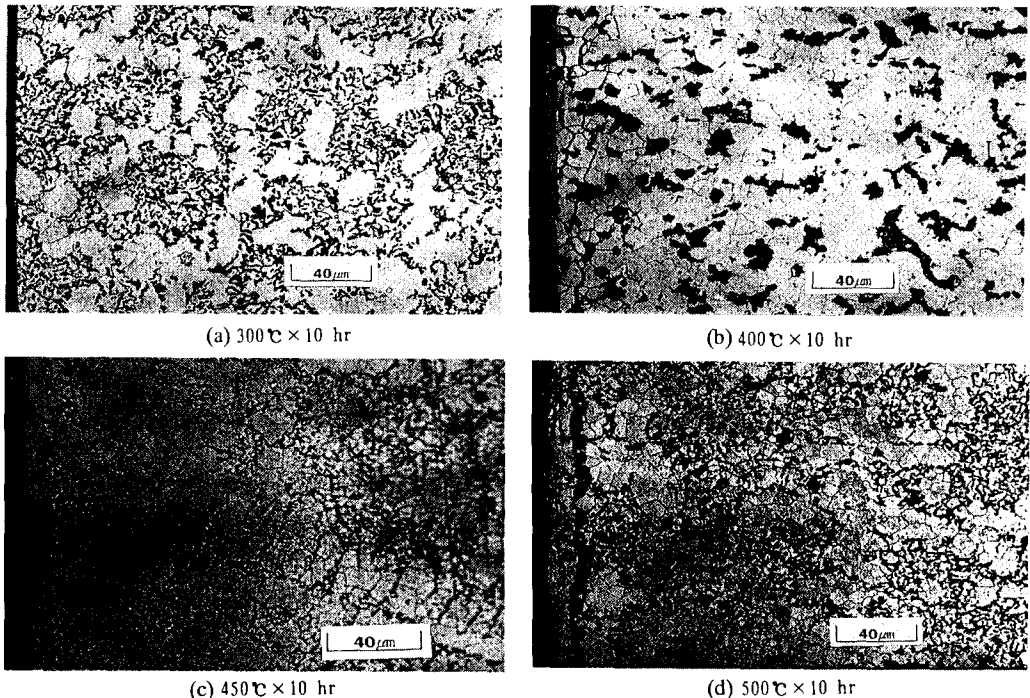


Fig. 3. Sectional view of ion-nitrided layer with increase of treatment temperature in $N_2:H_2=2:1$, 10hour. (a) 300°C; (b) 400°C; (c) 450°C; (d) 500°C

경우(예: 2, 3시간인 경우), 화합물층 두께가 지름 팽창량보다 큰데, 이는 승온 도중 N₂ 가스의 sputtering 작용에 의해 샤프트의 지름이 감소하기 때문인 것으로 추정된다. 질화의 영향은 배제하고 sputtering에 의한 치수변형만을 알아보기 위해 질소 대신 알곤 가스를 주입하여 가스조성을 Ar:H₂=2:1로 하여 450°C까지 2시간 승온시킨 결과 샤프트의 지름은 2~3 μm 감소하였다. 따라서 질화초기의 치수변형은 sputtering에 의한 치수감소와 질화에 의한 화합물층 형성으로 인한 치수증가 효과의 합으로 나타나기 때문에 지름팽창량이 화합물층 두께보다 적어 보이는 것으로 사료된다.

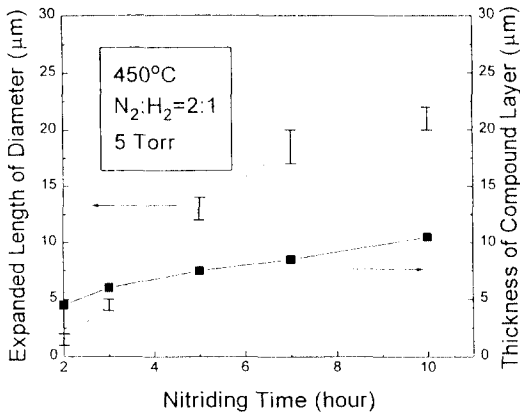


Fig. 4. Change of shaft diameter and thickness of compound layer with increase of treatment time (450°C, N₂:H₂=2:1, 5 Torr).

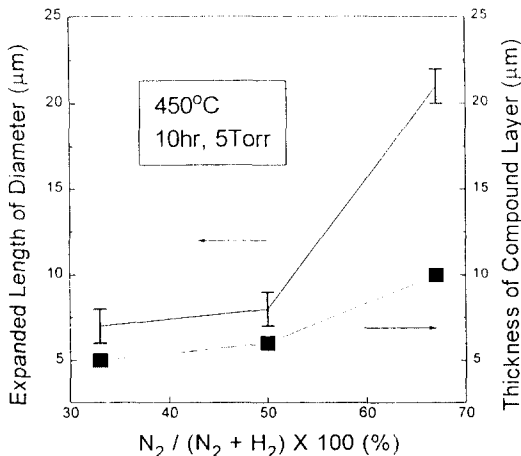


Fig. 5. Change of shaft diameter and thickness of compound layer with increase of N₂ ratio (450°C, 10hr, 5 Torr).

Fig. 5는 450°C에서 N₂:H₂의 비율을 1:2, 1:1, 2:1로 바꾸면서 10시간 동안 질화처리하였을 때의 치수변형 결과이다. 투입가스의 질소비율이 커질 수록 노내의 질소분압이 높아지므로 화합물층의 형성이 가속화되고 지름팽창도 증가한 것으로 사료된다. 온도에 따른 주철 모재의 팽창으로 인한 치수변형의 영향을 살펴보기 위해 450°C에서 10시간 동안 진공 열처리한 후 시편의 치수변형을 측정해 보았으나, 진공열처리에 의해서는 치수변화가 관찰되지 않았다.

2-2. 질화조건에 따른 기계적 성질의 변화

질화온도가 높을 수록 질화반응은 활성화됨으로 화합물층과 확산층의 두께는 두꺼워지고 표면으로부터의 거리에 따른 단면경도도 Fig. 6과 같이 높아진다. 그러나 온도가 너무 높으면 결정입자의 성장과 질소 원자의 질화층 내외부로의 확산으로 경도가 낮아질 수 있다. Fig. 3(d)는 N₂:H₂=2:1의 가스비율에서 500°C에서 10시간 동안 질화처리한 후의 표면조직인데 화합물층 아래에 검은 띠가 존재함을 보여준다. 이 검은 띠는 탄소강의 경우 γ'-Fe에서 α-Fe와 γ'의 공석 반응에 의해 생성되는 braunite 조직과 흡사하다. 이 조직은 일반적으로 기계적 성질에 나쁜 영향을 미치는 것으로 알려져 있다[7]. Fig. 7은 질화한 후의 표면을 SEM으로 관찰한 사진이다. 사진에서 보듯이 질화된 표면에는 cone 형태의 asperity들이 형성되었음을 알 수 있다. 이러한 cone 형태의 asperity들로 이루어진 질화 화합물층의 표면 morphology는 마찰과 마모

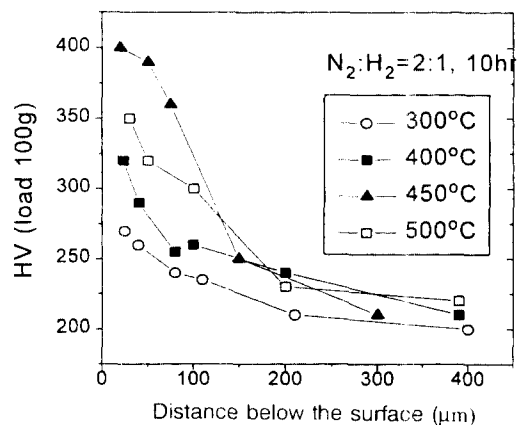


Fig. 6. Change of hardness with increase of treatment temperature (N₂:H₂=2:1, 10hr, ○—○: 300°C, ■—■: 400°C, ▲—▲: 450°C, □—□: 500°C).

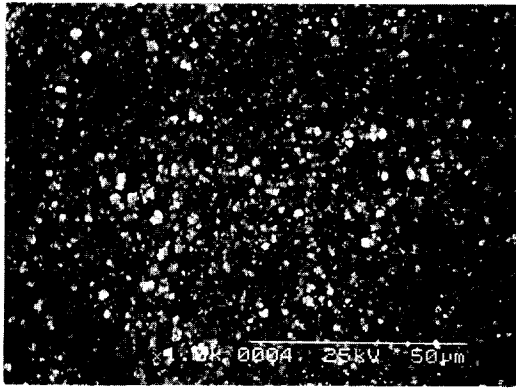


Fig. 7. SEM micrograph of the surface topography after ion nitriding.

Table 1. Surface roughness with increase of treatment temperature in N₂:H₂=2:1, 10hours

Temperature (°C)	No nitriding	300	400	450	500
Roughness Ra (μm)	0.186	0.182	0.119	0.233	0.363

에 많은 영향을 미치리라고 사료된다. Table 1은 질화 온도에 따른 표면조도 측정 결과이다. 질화온도가 500°C로 높아지면 표면이 거칠어지는 것을 알 수 있었다. 표면조도는 샤프트와 베어링의 마모시 영향을 미치는 하나의 요인으로 경도를 높인 샤프트의 표면조도가 높을 수록 마모는 더욱 많이 일어날 것으로 예상된다. 이상의 결과로부터 판단해 볼 때 샤프트의 이온질화 온도는 450°C를 넘지 않는 것이 바람직한 것으로 사료된다. Fig. 8은 450°C에서의 유지시간에 따른 단면경도 분포도이다. 대체적으로 유지시간이 길어질 수록 질화층의 두께가 두꺼워져감을 알 수 있다. 압축기 작동시 샤프트와 베어링사이는 큰 변형이 수반되지 않는 동작조건임으로 변형에 대한 저항력을 높여주는 질화층의 두께가 두꺼울 필요는 없다. 따라서 질화층의 두께가 100 μm 정도 나오는 5시간 내외의 처리시간이면 충분하리라 사료된다. Fig. 9는 450°C에서 10시간 유지하였을 때 질소와 수소가스의 비율에 따른 단면경도의 분포를 나타내고 있다. 질소 분압이 높을 수록 질화반응의 구동력이 커지므로 단면경도도 높게 나타나고 있음을 알 수 있다.

Fig. 10은 질소분압에 따라 생성되는 화합물층의 상 확인을 위해 질화처리 전후의 표면을 X-선 회절시험한 결과이다. Fig. 10(a)는 질화처리하기 전인 주철모재의 회절도인데 α-Fe상만이 존재함을 알 수가 있다.

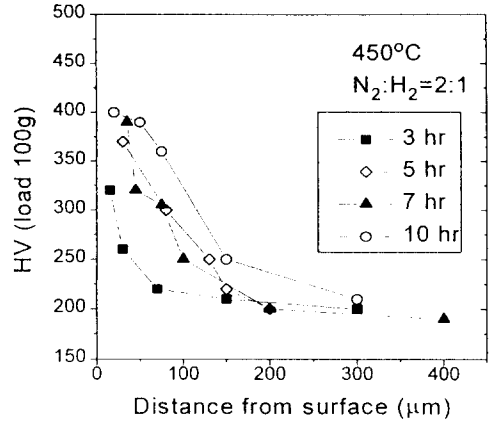


Fig. 8. Change of hardness with increase of treatment hour (450°C, N₂:H₂=2:1, ■—■; 3hr, ◇—◇; 5hr, ▲—▲; 7hr, ○—○; 10hr).

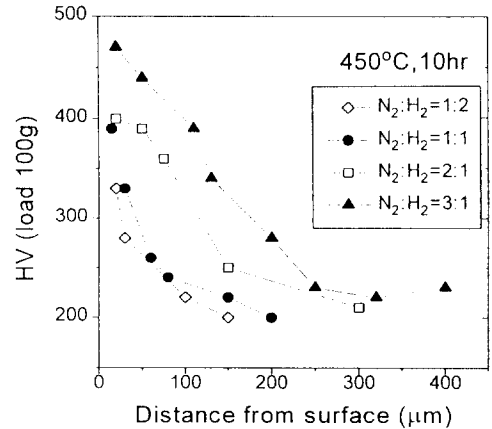


Fig. 9. Change of hardness with increase of N₂ ratio (450°C, 10hr, ◇—◇; N₂:H₂=1:2, ●—●; N₂:H₂=1:1, □—□; N₂:H₂=2:1, ▲—▲; N₂:H₂=3:1).

N₂:H₂=1:2로 질소분압이 낮게 질화처리된 (b)의 경우는 γ'상이 지배적이고 ε상은 존재하기는 하나 그 분율이 적었다. 그러나 N₂:H₂=1:1 또는 2:1로 질소 분압이 높아진 (c), (d)의 경우는 γ'상의 강도가 줄어든 대신 ε상의 강도가 커지고 있음을 알 수가 있다. 일반적으로 ε상은 HCP 구조의 Fe₂₃N 화합물로 γ' 층보다 경도는 높으나 취약한 반면, γ' 상은 FCC 구조의 Fe₄N 화합물로 경도는 ε층보다 낮으나 연성이 좋은 것으로 알려져 있다[8]. 따라서 경도를 요구하는 재료에는 단상의 ε상을, 연성을 요구하는 재료에는 단상의 γ'상을 형성시키는 것이 바람직하다. 한편 화합물

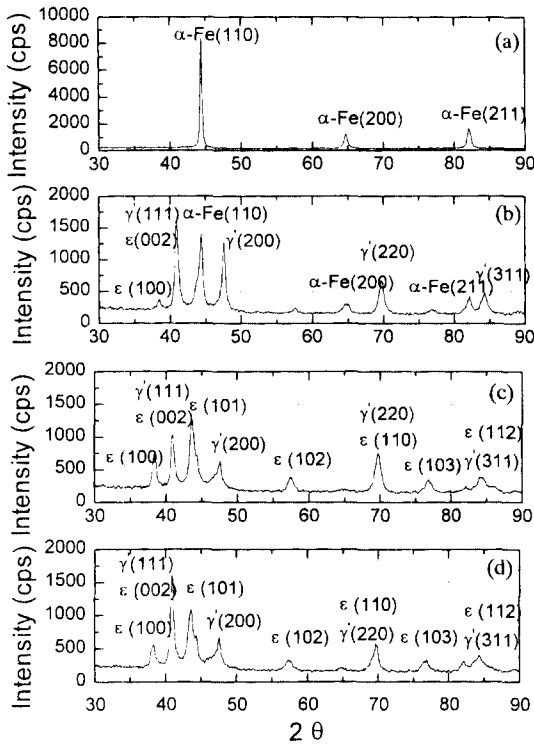


Fig. 10. X-ray diffractogram with different N₂ ratio. (a) original surface, (b) 450°C×10hr N₂:H₂=1:2, (c) 450°C×10hr N₂:H₂=1:1, (d) 400°C×10hr N₂:H₂=2:1.

층에 ε과 γ'의 혼합상이 존재하면 내부의 자체응력에
로 인해 균열이 발생할 가능성이 있다[9].

3. 마찰 마모 시험

3-1. 시험방법 및 조건

질화조건에 따른 마찰 마모 특성을 고찰하기 위해
서 샤프트와 베어링 및 베인과 롤러재질에 대하여 각
각 마찰 마모시험을 행하였다. 각 재질의 성분 및 경
도가 Table 2에 나타나 있다. 전술한 바와 같이 이온
질화처리는 샤프트와 베인 재질에 대하여 각각 행하
여졌으며 처리조건은 주로 질소의 분압을 변화시킴으
로서 화합물층의 두께 및 상이 다르게 생성되도록 설
정하였다. 각 시험의 질화처리 조건이 Table 3에 나타
나 있다. 샤프트와 베어링재질의 마모시험은 Plint사
의 pin-on-disk형 마모시험기를 이용하여 윤활상태 하
에서 행하여졌다. 마모시험의 핀 재질은 압축기 샤프
트를 사용하여 핀 끝을 지름 8 mm의 불형태로 가공

Table 2. The material and hardness of each test sam-
ples

Sample	Material	Hardness (Hv)
Shaft	Grey Cast Iron	210
Bearing	Sintered Iron	200
Vane	High Speed Tool Steel (SKH51)	850~950
Roller	Ni+Cr+Mo Cast Iron	440~600

Table 3. Treatment conditions of each test sample

Sample No.	Treatment Condition			
	Temp. (°C)	Time (hr)	Gas Mixture (N ₂ :H ₂)	
Shaft	1	450	7	1:4
	2	450	6	1:1
	3	500	7	2:1
Vane	1	450	5	1:4
	2	450	5	1:1
	3	450	5	2:1

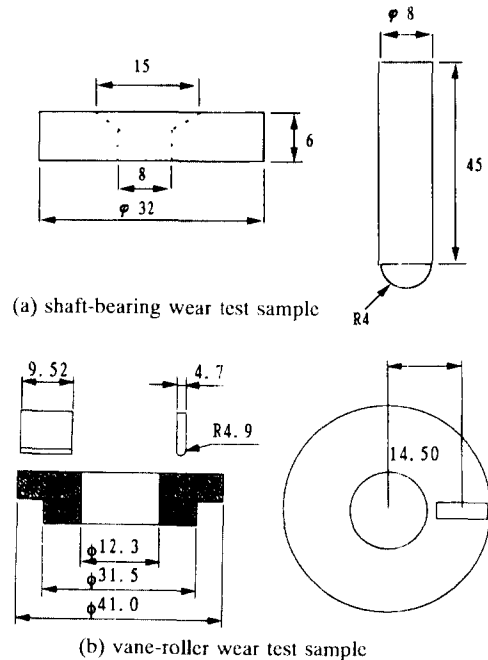


Fig. 11. Configuration and dimension of the samples.

하여 이온질화처리하였다. 상대재인 디스크는 베어링
재질을 지름 32 mm의 디스크 형태로 가공하여 사용
하였으며 가공된 디스크는 #1000 연마지로 무방향 연
마한 후 아세톤으로 세척하여 시험하였다. 마모시험
은 디스크의 미끄럼속도를 0.63 m/s로 일정하게 회전

시키고 하중 3 kgf, 미끄럼거리를 1000 m로 하여 상온에서 시험하였으며 사용된 윤활유는 SUNISO-4GSD의 압축기용 광유이다. 베인과 롤러의 마모시험은 실제의 롤러와 베인의 접촉이 Fig. 1과 같이 곡면과 곡면의 접촉이나 마모시험기에서는 그 형태로의 적용이 어려워 롤러를 디스크 형태로 가공하여 곡면과 디스크(cylinder-on-disk)의 접촉형태로 실험하였다. 각 시험편의 형상 및 치수가 Fig. 11에 나타나 있다. 베인과 롤러의 마모시험은 Falx 마모시험기를 이용하여 윤활상태 및 냉매상태에서 각각 행하여졌다. 사용된 윤활유 및 냉매는 현재 사용되고 있는 SUNISO-4GSD 광유와 R22였다. 냉매만의 시험의 경우 마모시험기에 시편을 설치한 다음 고압챔버를 장착하고 진공펌프를 이용하여 내부의 공기를 제거시킨 후 기상의 냉매를 주입하였으며 이때 챔버내의 압력은 10기압이었다. 윤활상태 및 냉매분위기에서의 윤활조건이 상이함으로 각 시험조건을 다르게 설정하였으며 Table 4에 각 시험조건을 나타내었다. 시험중 마찰계수를 연속적으

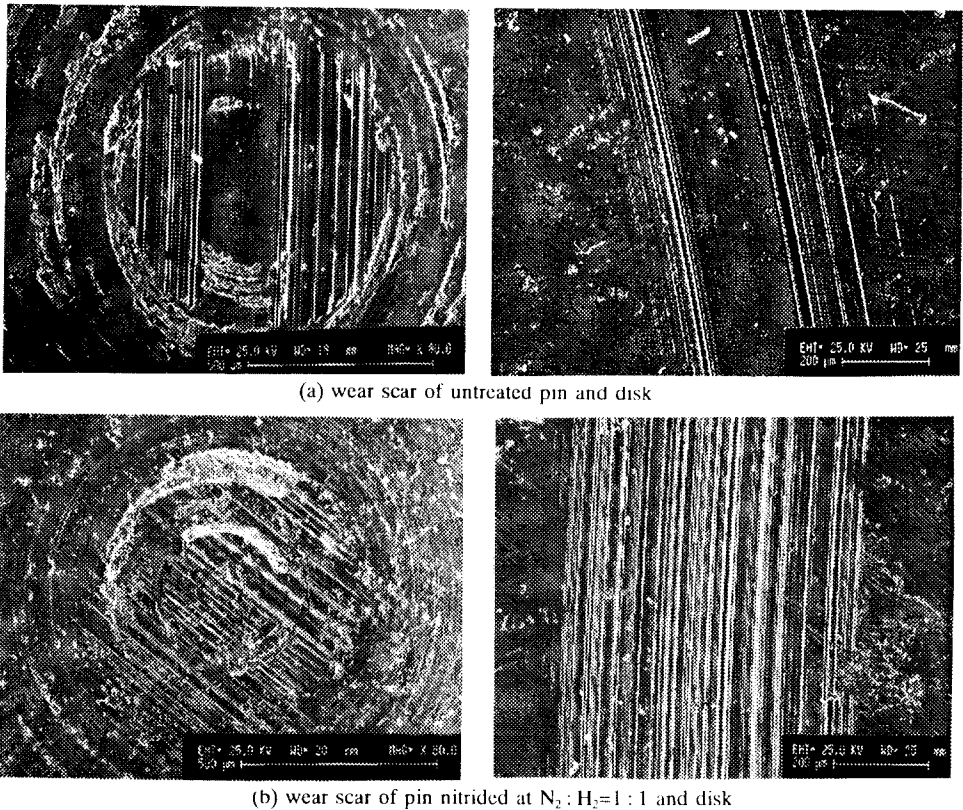
로 측정하였으며 시험 후 각 편외의 마모는 핀 끝의 마모된 면적을, 베인의 마모는 베인 끝의 마모트랙의 폭을 광학현미경으로 측정하여 비교하였으며 디스크의 마모정도는 마모트랙의 형상을 표면조도계를 사용하여 측정 비교하였다.

3-2. 시험결과 및 고찰

3-2-1. Pin-on-disk 마모시험(샤프트와 베어링 마모 시험)

Table 4. Test types and conditions of each test sample

Test	Test Type	Lubricant or Environments (kgf)	Load	Speed (m/s)	Duration
Shaft/Bearing	Pin-on-disk	Suniso			
		mineral oil	3	0.63	1000 m
Vanc/Roller	Vanc-on-disk	Suniso			
		mineral oil	180	0.52	5 hour
		R22 only	418	0.052	1 hour



(a) wear scar of untreated pin and disk

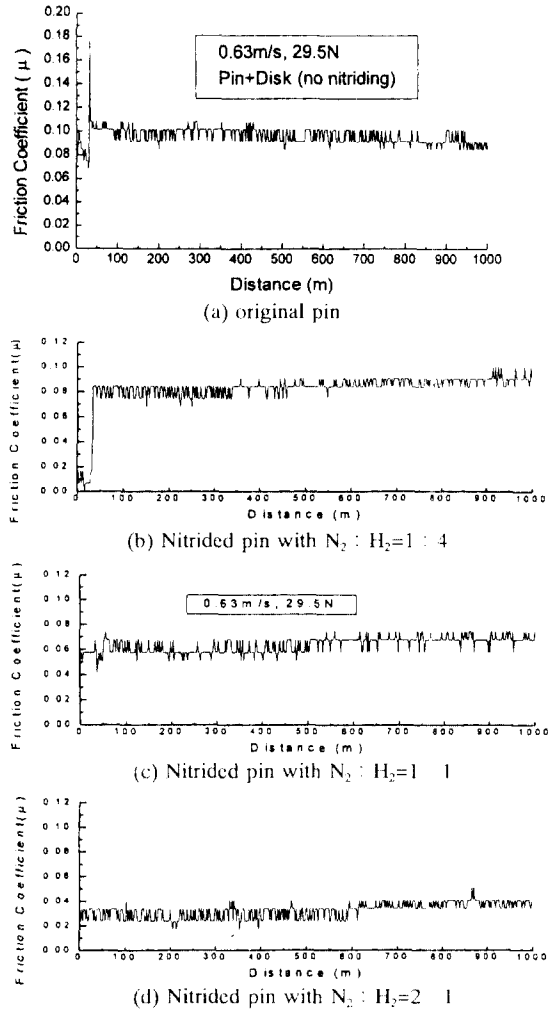
(b) wear scar of pin nitrided at N₂:H₂=1:1 and disk

Fig. 12. Photograph of wear scar of pin and disk.

Table 5. Wear scar area of the pin

Material	Wear Scar Area (mm ²)
Original pin	0.415
Nitrided pin at N ₂ :H ₂ =1:4	0.140
Nitrided pin at N ₂ :H ₂ =1:1	0.291
Nitrided pin at N ₂ :H ₂ =2:1	0.321

시험결과 질화한 경우가 질화하지 않은 경우보다 마모 및 마찰이 상당히 감소하였음을 알 수 있었다. Fig. 12에 질화처리한 경우와 질화처리하지 않은 경우의 마모시험에서 핀과 디스크의 마모된 모습이 각각 나타나있다. 질화하지 않은 핀은 비교적 고르게 넓은 면적에서 마모가 일어났으나, 질화한 핀은 마모가 진행된 방향으로의 마모길이는 짧으나 폭방향으로의 마모가 상당히 진행되었다. 이는 경도가 낮은 디스크 위에 질화처리로 경도가 높아진 핀이 하중을 누를 때 cone형상의 asperity들이 점진적으로 소성변형되어 파괴되면서 표면으로부터 탈락한 후 디스크의 마모입자들과 혼합되어 접촉경계면으로 옮겨가면서 마모를 일으키기 때문인 것으로 사료된다. 따라서 질화한 경우는 높아진 경도로 인해 핀의 마모는 줄어드나 마모입자들로 인한 측면 접촉경계부와 디스크의 마모가 늘어나는 경향을 보인다. 한편 질화한 경우 마찰도 상당히 감소하였는데 이는 질화처리할 경우 표면의 경도가 높아짐에 따라 습동시 실접촉면적이 감소하고 더욱이 표면에 cone형상의 asperity들이 실접촉면적을 더욱 감소시키는 효과를 가져와 마찰이 많이 감소하게 되는 것으로 사료된다. 질소분압을 다르게 하여 질화처리한 경우 핀의 마모된 면적을 측정된 결과 Table 5에서와 같이 N₂:H₂=1:4로 질소분압이 낮은 경우가 가장 적은 마모량을 나타내고 있으며 2:1의 경우가 가장 많은 마모량을 나타내고 있다. 한편 Fig. 13의 마찰계수 값은 오히려 1:4의 경우가 가장 높았으며 2:1의 경우가 가장 낮았다. 이는 1:4의 경우 상대적으로 연성이 좋은 γ 상으로 인하여 실접촉면적이 증가하여 마찰계수가 높은 반면, 2:1의 경우 경도가 높은 ϵ 상의 형성으로 실접촉면적이 상대적으로 적어 마찰계수가 낮은 것으로 사료된다. Fig. 14는 상대재인 디스크의 마모트랙을 표면조도계를 이용하여 측정된 형상이다. 질소분압 1:4로 질화된 핀을 사용한 경우 디스크 마모트랙의 폭이 가장 적었으며, 핀의 경도가 상대적으로 높은 2:1의 경우 마모트랙의 폭과 깊

**Fig. 13. Change in coefficient of friction with different N₂ ratio.**

이가 가장 커서 디스크의 마모가 가장 많았음을 알 수 있다. 위의 마모결과를 요약하면 질소분압 1:4로 질화된 경우 핀과 디스크의 마모가 가장 적었으며 2:1인 경우는 핀과 디스크의 마모가 최대가 됨을 알 수 있다.

3-2-2. Vane-on-disk 마모시험(베인과 롤러 마모 시험)

베인과 롤러의 마모시험 결과 역시 질화한 경우보다 마모 및 마찰계수가 적음을 알 수 있었다. 질소분압을 다르게 하여 베인에 질화처리를 한 경우 Fig. 15에 나타난 바와 같이 마모량은 질소분압이 가장 높은 N₂:H₂=2:1의 경우가 가장 낮

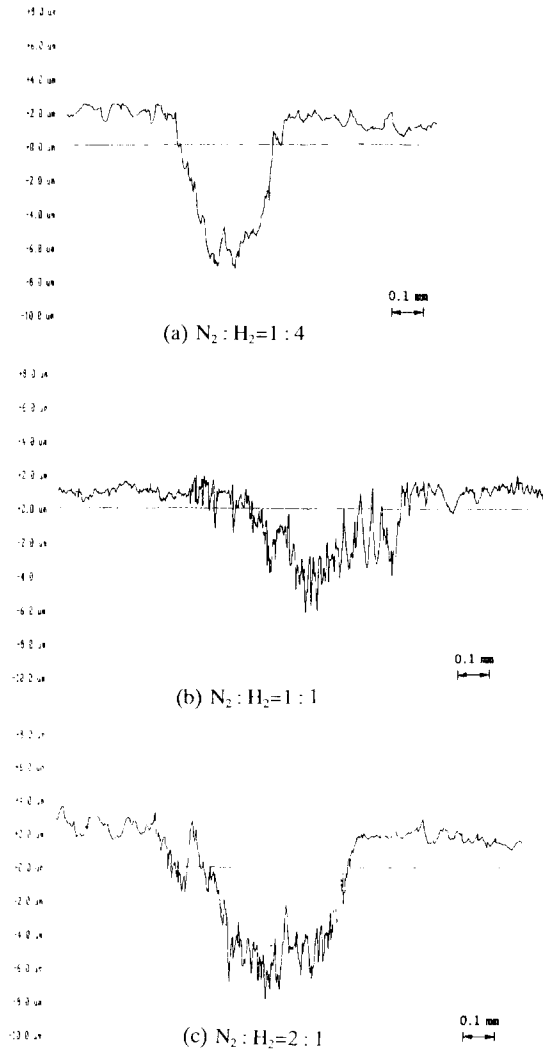


Fig. 14. Surface profile of disk wear track different N_2 ratio.

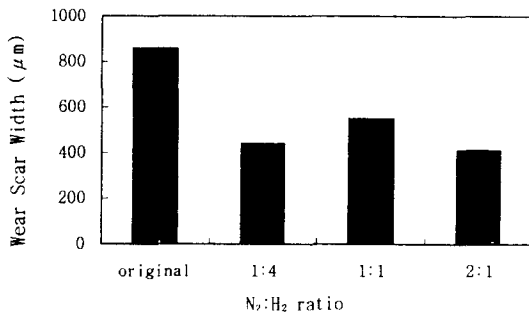


Fig. 15. Wear track width of the vane in lubricated wear test.

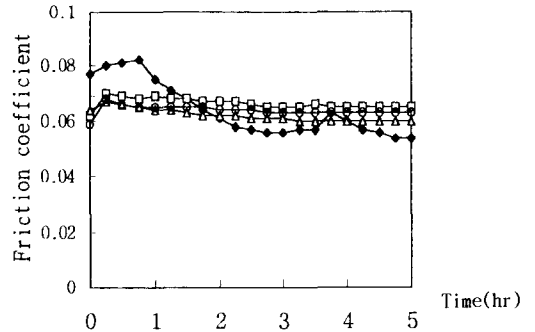


Fig. 16. Change in coefficient of friction in lubricated wear test (◆◆; Original, □□; $N_2:H_2=1:4$, △△; $N_2:H_2=1:1$, ○○; $N_2:H_2=2:1$).

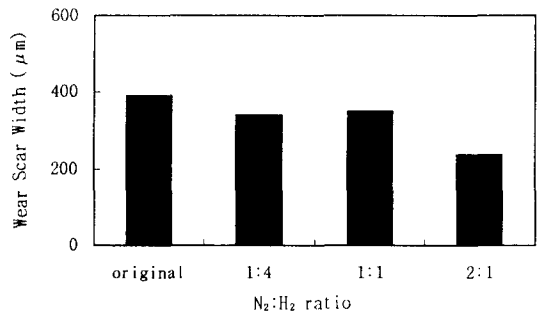


Fig. 17. Wear track width of the vane in refrigerant only wear test.

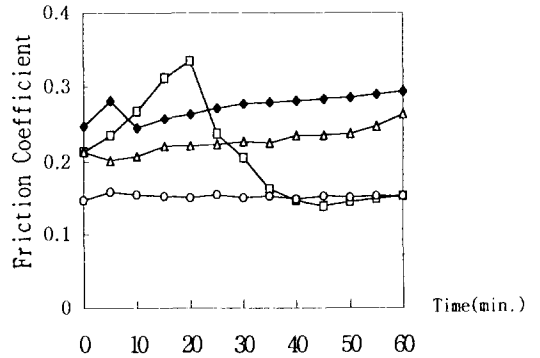


Fig. 18. Change in coefficient of friction in refrigerant only wear test (◆◆; Original, □□; $N_2:H_2=1:4$, △△; $N_2:H_2=1:1$, ○○; $N_2:H_2=2:1$).

았는데 이는 샤프트와 베어링의 마모결과와는 상반되는 것이다. 한편 $N_2:H_2=1:1$ 의 경우가 마모량이 가장 높았다. 마찰계수는 Fig. 16에서와 같이 질소분압에 관계없이 거의 동일한 값을 보여주고 있다. 따라서 마모 및 마찰 현상을 좀더 면밀히 관찰하기 위하여 좀더 과도한 시험조건인 냉매만의 상태하에서의 마모시험

을 수행하였다. 시험결과 Fig. 17과 같이 마모량은 윤활유상태에서의 결과와 동일하게 $N_2:H_2=2:1$ 의 경우가 가장 적었으며 $N_2:H_2=1:1$ 의 경우가 가장 많았다. 마찰계수(Fig. 18)는 뚜렷한 차이를 보여주고 있는데 2:1의 경우가 가장 낮았으며 1:4의 경우 시험 초기에는 매우 높았으나 점차 감소하여 안정된 값을 보여주고 있다. 이 마찰 결과는 샤프트와 베어링 시험 결과와 일치하는 것으로 질소의 분압이 증가할 수록 질화막의 경도는 증가되며 이에 따라 상대접촉운동시 실접촉면적이 감소되면서 마찰계수가 감소하는 것으로 사료된다. 한편 디스크의 마모는 마모트랙의 깊이가 매우 미미하여 비교가 불가능하였다.

4. 고 찰

이온질화 표면처리는 비용이 저렴하고 각종 철강재 질에 광범하게 사용되어 우수한 내마모특성을 보인다고 알려져 있다. 그러나 처리조건 및 tribological한 특성에 대해서는 연구가 부족한 실정이다. 따라서 본 연구에서는 로타리압축기 내부에서 재질 및 습동조건이 다른 샤프트와 베인에 각각 질화처리를 적용하여 질화조건에 따른 질화막의 생성과 마찰 마모 특성을 고찰하였다. 질소분압이 낮을 수록 연성이 좋은 γ 상이 형성되었으며, 분압이 높을 수록 경도가 높은 ϵ 상이 형성되었다. 샤프트에 질화처리를 한 경우 치수변형 및 샤프트와 베어링의 마모를 최소화하는 $N_2:H_2=1:4$ 의 처리조건이 적합할 것으로 보인다. 반면에 베인의 경우 가장 낮은 마찰 및 마모량을 보여준 2:1의 처리조건이 가장 적합할 것으로 사료된다. 이는 가장 과도한 습동조건하에 있는 베인의 경우 경도가 높은 ϵ 상의 질화막을 형성시킴으로써 점진적인 마모를 줄이고 동시에 실접촉면적을 감소시켜 마찰계수를 감소시키는 것이 유리하리라고 생각되기 때문이다.

5. 결 론

에어콘용 로타리압축기의 scuffing 현상을 방지하고 마찰 마모 특성을 향상시키기 위하여 압축기 샤프트에 이온질화처리를 적용하였으며, 샤프트의 질화처리 특성 및 마모 특성을 연구한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 샤프트의 질화처리는 질화처리하지 않은 경우

보다 표면부의 경도를 높이고 전단변형이 쉬운 질화층을 형성시킴으로써 우수한 마찰 및 마모 특성을 나타내었다.

2. 샤프트의 질화처리에 의한 치수변형은 승온중의 스퍼터링과 질화에 의한 화합물층의 형성과 밀접한 관련이 있으므로 질화조건이 일정하면 변형량도 일정하다.

3. 샤프트의 내마모 성능 향상을 위한 이온질화처리의 최적조건은 질소분압을 최대한 낮추면서 표면부의 경도를 올리는 다음과 같은 조건이었다.

(1) 질화조건은 450°C를 넘지 않음으로서 표면균열 및 표면경도 저하를 방지한다.

(2) 질화시간은 5시간 내외로 하여 불필요한 경도 및 치수변형의 증가를 방지한다.

(3) 질소분압은 로내 전체 압력의 20~30%로 유지함으로서 연성이 좋은 γ' 단상의 화합물이 형성되게 한다.

4. 베인의 최적 이온질화처리 조건은 질소분압을 높여 베인 표면에 경도가 높은 ϵ 상을 형성시킴으로써 점진적인 마모를 감소시키고 동시에 실접촉면적을 감소시켜 마찰계수를 감소시키는 것이 좋으리라고 사료된다.

참 고 문 헌

1. Staines, A. M. and Bell, T., 1981, "Tribological importance of plasma-induced nitrided and carburized layers on steel," *Thin Solid Films*, Vol. 86, pp.201-211.
2. 박정렬, 1995, "304L 스테인리스강의 플라즈마 질화처리," *한국열처리학회 논문집*, Vol. 8, No. 4, Dec. pp.255-265.
3. Nakagawa, Y., Kamitusuma, Y., Iizuka, T., Ikeda, K., 1990, "Selection of Friction Material Used in Compact High Performance Inverter Controlled Rotary Compressors," *Proceedings of 1990 International Compressor Engineering Conference at Purdue*, pp. 771-778.
4. Sheiretov, T., Van Glabbeek, W., Cusano, C., 1994, "Tribological Evaluation of Various Surface Treatments for M2 Tool Steel in a Refrigerant Environments," *Proceedings of 1994 International Compressor Engineering Conference at Purdue*, pp.103-108.

5. Mizuhara, K., 1994, "The Friction and Wear Behavior in Controlled Alternative Refrigerant Atmosphere," STLE Tribology Transactions, Vol. 37, 1, pp.120-128.
6. Davis, B., Sheiretov, T., Cusano, C., 1992, "Tribological Evaluation of Contacts Lubricated by Oil Refrigerant Mixtures," Proceedings of 1992 International Refrigeration Conference at Purdue, pp.477-488.
7. 曾根 匠, 山中久彦, 1997, "炭素鋼の イオン窒化 について," 日本金屬學會誌, Vol. 41, pp.620-625
8. Spalvins, T., 1983, "Tribological and microstructural characteristics of ion-nitrided steels," Thin Solid Films, Vol. 108, pp.157-163.
9. Hutchings, I.M., 1992, Tribology, CRC Press, pp.223-224.