

## 중탄소 Boron강의 가스침질탄화처리에 의해 형성된 화합물층의 마모특성에 관한 연구

박기원·오도원·조효석·이해우\*·이준범·이상윤  
 동아대학교 공과대학 금속공학과  
 \*삼성중공업 조선플랜트연구소

### A Study on the Wear Characteristics of Compound Layers Formed during Gaseous Nitrocarburizing in Medium Carbon Boron Steels

K. W. Park, D. W. Oh, H. S. Cho, H. W. Lee\*, J. B. Lee and S. Y. Lee  
 Dept. of Metallurgical Engineering, Dong-A University, Pusan 604-714, Korea  
 \*Shipbuilding & Plant Institute, Samsung Heavy Industry Co., Ltd., Koje 650-800, Korea

**ABSTRACT** The study on the wear characteristics of compound layers formed during gaseous nitrocarburizing in the medium carbon boron steels and the plain carbon steel has been carried out by using a pin-on-disc type wear test machine under the oil lubricating condition at room temperature and by varying applied loads, sliding speeds and wear distances.

Values of friction coefficient measured at the sliding speed of 0.4m/sec under the oil lubricating condition have been shown to decrease considerably with increasing applied load and become gradually a constant value as load is increased to a higher value, showing that the transition load for friction coefficient appears at an applied load of 247.2N. The length and volume wear rates of compound layer have been revealed to relatively constantly increase, also showing that the wear life per unit thickness of compound layer turns out to be superior as porous layer has a denser and thinner appearance. As the sliding speed increases during wear test performed by varying sliding speed at a load of 63.2N under the oil lubricating condition for medium carbon boron steel nitrocarburised in gas atmosphere, the wear rate has been found to increase, the friction coefficient to decrease and the wear life per unit thickness of compound layer to decrease considerably.

**Key words** : *Gaseous nitrocarburizing, Compound layer, Porous layer, Medium carbon Boron steel, Pin-on-disc type wear test, Wear rate, Wear length, Wear life, Sliding speed, Sliding distance*

#### 1. 서 론

페라이트계 가스침질탄화(ferritic gaseous nitrocarburising)처리는 페라이트상역에서 실시하는

화학열처리(thermochemical treatment)로서 Fe-N계의 공석온도 직하인 570°C 에서 보통 5시간이  
 내의 짧은 처리시간동안 침질탄화가스 분위기에서  
 반응시켜 철강재료의 표면에 N와 C를 동시에 확

산·침투시키는 표면경화 열처리방법이다. 가스침질탄화처리하는 재료의 표면에 주로 탄질화물(carbonitride)로 구성되는 화합물층(compound layer)과 그 아래에 주로 질소가 확산된 확산층(diffusion layer)을 형성시켜 내마모성, 내피로성 및 내식성을 요구하는 부품에 현재 널리 사용되고 있다. 표면에 형성된 화합물층은 일반적으로 내마모성이 우수하며<sup>1)</sup> 화합물층의 내마모특성은 화합물층의 미세조직특성에 따라 좌우된다. 화합물층은 마찰계수가 작으며 미소다공층의 형성으로 내마모성에 중요한 역할을 하며, 상대재료와의 사이에서 마모과정에 발생하는 응착(adhesive)이나 용착(weld) 현상을 억제함으로써 내마모성의 개선에 효과를 나타낸다.<sup>2)</sup> 이러한 화합물층의 형성과 성장은 노내 혼합가스분위기의 N 및 C 포텐셜에 우선적으로 영향을 받으며 모재의 탄소량 및 합금원소에 의해서도 영향을 받는다.<sup>3)</sup> 화합물층은 표면에 5~20 $\mu$ m 정도 형성되며, 면심입방격자의  $\gamma$ -Fe<sub>4</sub>N 상, 조밀육방격자의  $\epsilon$ -Fe<sub>2-3</sub>(N,C) 상의 단일조직, 또는 두 상의 혼합조직으로 이루어진다. 일반적으로 단일상보다는 혼합상의 내마모성이 더 낮으며 열피로 특성도 낮은 것으로 보고되고 있다.<sup>4),9)</sup>

내마모성이 낮은 화합물층은 마모시험초기에 쉽게 마멸되어 연마 마모(abrasive wear)로 작용하여 내마모 특성이 저하된다. 그리고 두꺼운 화합물층이 항상 우수한 내마모성을 나타내지는 않는데 이는 두꺼운 화합물층인 경우 두께가 커짐에 따라 조대하고 많은 기공들을 포함하고 마멸되기 쉽기 때문이다.<sup>6)~12)</sup> 화합물층의 마모기구가 복잡하여 내마모성 향상에 관계되는 마모기구에 대한 연구가 아직 미흡한 실정이다.

따라서 본 연구에서는 가스침질탄화처리된 중탄소 보론강 및 중탄소강에 형성된 화합물층의 조직 변화에 따른 기름유회조건하에서의 핀-온-디스크형(pin-on-disc type) 마모시험시 화합물층의 마모 특성을 비교·고찰함으로써 화합물층이 내마모성에 미치는 영향을 밝히고자 한다.

## 2. 실험방법

### 2.1 시료제작

시료는 스프링강용 중탄소 보론강인 AISI 51B37 및 P.C. (prestressed concrete) 강선용 고장력 중탄소 보론강인 PSPC 32B(Posco super wire rod for prestressed concrete wire)와 이들과 비슷한 탄소함량을 가지는 상용 보통탄소강인 AISI 1045를 사용하여 마모재인 핀(pin)시편을 제작하였으며 각 시료의 화학조성은 Table 1과 같다. 그리고 고C·Cr 베어링강(high carbon chromium bearing steels)인 AISI 52100을 퀴칭 및 템퍼링처리를 하여 상대마모재인 디스크(disc)시편을 제작하였다. 마모시험에 사용된 시험편은 ASTM G99에 의거하여 핀-온-디스크형 마모시험기(wear test machine, model TE88, PLINT Ltd, England)에 적합하도록 제작하였다.

### 2.2 가스침질탄화처리

시편의 열처리는 온도제어장치에 의해 온도정확성을  $\pm 1.5^{\circ}\text{C}$  이내로 유지한 수직형 전기관상로(91  $\phi \times 1000\text{mm}$ , 3kw)를 사용하여 시편을 장입한 후 20분간의 등온유지시간동안 초기질화반응을 활성화시켜 화합물층의 형성에 좋은 영향을 주기위해 40%NH<sub>3</sub>-56%N<sub>2</sub>가스를 주입하여 전질화처리후 4%CO<sub>2</sub>가스를 추가한 노내가스분위기를 통하여 570 $^{\circ}\text{C}$ 에서 2시간동안 가스침질탄화처리를 하여 기름에 퀴칭하였다. 가스침질탄화처리중 혼합가스의 노내 체적 교환비(volume exchange rate)는 19.10 times/hour로 유지하였다.

Table 1. Chemical composition of specimens.(wt.%)

specimens	C	Si	Mn	P	S	Cr	B	Al
AISL51B37	0.38	0.20	0.41	0.012	0.006	1.05	0.0017	0.027
PSPC32B	0.31	0.22	0.72	0.012	0.007		0.0025	0.025
AISI1045	0.48	0.20	0.92	0.010	0.010			

## 2.3 현미경 조직관찰

가스침질탄화처리한 시편의 미세조직을 관찰하기 위해 연마 및 정마한 후 2% nital 부식액으로 부식하여 광학현미경(Nikon, EPIPHOT) 및 주사전자현미경(JSM-35F)을 사용하였다.

## 2.4 경도시험

화합물층 및 확산층의 깊이에 따른 경도변화를 측정하기 위해 비커스 미소경도기(Matsuzawa, MXT 70)를 사용하여 경도시험을 행하였다.

## 2.5 마모시험

가스침질탄화처리된 시편 표면층의 마모특성을 고찰하기 위하여 핀-온-디스크형 마모시험기를 사용하여 습식마모시험을 실시하였다. 마찰력(friction force), 마찰계수(friction coefficient), 미끄럼거리(sliding distance) 및 핀의 마모길이(wear length)는 선형유동미분변환기(linear variable differential transducers)에 의해 측정하여 링크 인터페이스 모듈(link interface module, PLINT SLIM 2000)을 이용한 제어장치를 통하여 제어 및 자료 수신 시스템(control and data acquisition system)이 내장된 컴퓨터로 전달하여 출력되었다. 마모시험은 기름윤활조건하에서 28.94rpm에서 289rpm의 범위로 변화시켜 47.2N에서 1647.2N의 하중을 핀에 가하였으며 미끄럼속도(sliding speed)는 0.1, 0.2, 0.3, 0.4 및 0.5 m/sec로 변화시켜 실시하였다. 핀의 체적마모량(volume loss of pin)은 ASTM G99-90에 의거하여 핀의 마모길로부터 계산하였다. 마모시험에 사용된 윤활제(lubricant)는 고도로 정제된 파라핀계 기계유로써 각종 산업기계에 적합한 베어링 윤활유인 ISO VG GH68을 사용하였으며 시험중 디스크의 마찰면에 최근접부위의 윤활기름의 온도를 디지털온도계(FLUKE-51 Thermometer)로 측정하여 마모시험중 측정온도가 110°C를 넘지 않도록 조절하여 마모시험의 정확성을 유지하였다.

## 3. 실험결과 및 고찰

### 3.1 미세조직 변화

Fig. 1은 570°C의 온도에서 2시간 동안 40%NH<sub>3</sub>-4%CO<sub>2</sub>-56%N<sub>2</sub>의 혼합가스 분위기에서 가스침질탄화처리하여 기름에 퀘칭한 시편에 형성된 표면층의 미세조직으로서 (a), (b) 및 (c)에 나타난 바와 같이 최외표면에 화합물층과 그 아래에 확산층

Fig. 1. Optical micrographs showing the compound layers of specimens nitrocarburised for 2 hours at 570 °C in the atmosphere of 40% NH<sub>3</sub>-4% CO<sub>2</sub>-56% N<sub>2</sub> gas mixture.  
(a) AISI 51B37 (b) P5PC 32B  
(c) AISI 1045

으로 구성되어 있다. 화합물층의 두께는 AISI51B37은 17 $\mu\text{m}$ , PSPC 32B는 11 $\mu\text{m}$  그리고 AISI 1045는 15 $\mu\text{m}$ 이었으며 확산층에서 N원자의 확산속도가 C원자의 확산속도보다 10배 정도 빠르며<sup>3)</sup> 확산층에서는 주로 질소원자가 페라이트상에 과포화상태로 고용되어 있을 것으로 생각된다. 화합물

층의 성장특성을 관찰하기 위하여 주사전자 현미경 조직사진을 Fig. 2에 나타내었는데 화합물층의 최외각 표면부에 미소다공층이 강종에 따라 다른 형태와 분포로 존재함을 알 수 있다. 이러한 미소다공들은 화합물층에 존재하는 질소원자가 높은 활동도로 인해 결합하여 질소 분자로 되고 이 질소 분자가 높은 압력에 의해 방출되어 주위의 분위기에 열려짐으로써 형성되는 것으로 알려져 있으며,<sup>5)</sup> 또한 산소원자에 의해서도 영향을 받는다고 알려져 있다.<sup>15)</sup> 그리고 PSPC 32B강에 비해 AISI 51B37강의 화합물층과 기지와 계면부분의 형태가 불균일 함을 알 수 있는데, 이는 화합물층이 결정입계를 따라서 또한 펄라이트(pearlite)영역으로 우선적으로 성장하였다고 생각된다.

### 3.2 경도변화

Fig. 3은 가스침질탄화처리된 AISI 51B37, PSPC 32B 및 AISI 1045강의 최표면부로부터 깊이 에 따른 미소 경도분포를 나타내고 있다. 표면층에서의 최고 경도값은 AISI 51B37강의 경우 표면으로부터 10 $\mu\text{m}$ 의 깊이에서 Hv 870, PSPC 32B강은 5 $\mu\text{m}$ 의 깊이에서 Hv 803 및 AISI 1045강의 경우 5 $\mu\text{m}$ 의 깊이에서 Hv 743으로 측정되었다. 최표면으로부터 Hv

Fig. 2. SEM micrographs showing the compound layers of specimens nitrocarburised for 2 hours at 570 °C in the atmosphere of 40%NH<sub>3</sub>-4%CO<sub>2</sub>-56%N<sub>2</sub> gas mixture.  
(a) AISI 51B37 (b) PSPC 32B  
(c) AISI 1045

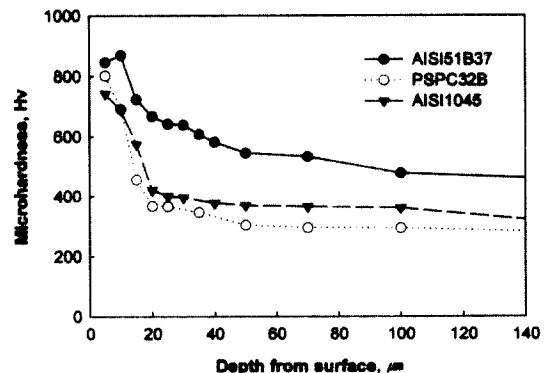


Fig. 3. Microhardness profiles of AISI 51B37, PSPC 32B and AISI 1045 steels nitrocarburised for 2 hours at 570°C in the atmosphere of 40%NH<sub>3</sub>-4%CO<sub>2</sub>-56%N<sub>2</sub> gas mixture.

500의 경도값을 가지는 층까지의 유효경화깊이 (effective case depth)는 AISI 51B37은 70 $\mu$ m, PSCP 32B는 4 $\mu$ m 및 AISI 1045는 3 $\mu$ m이었다. 상대마모재인 퀴칭 및 템퍼링처리된 AISI 52100강의 디스크는 경도값이 Hv 817이었다.

3.2 습식 미끄럼마모 특성

3.2.1 마모곡선 변화

Fig. 4는 처리하지 않은 시편과 가스침질탄화처리된 시편을 기름윤활조건하에서 0.4 m/sec로 미끄럼속도를 일정하게 하여 하중변화에 따른 미끄럼거리와 핀의 마모길이 및 체적마모량의 변화를 보여주는 것으로 화합물층이 마모되어진 후 확산층에 이르기까지의 전체적인 마모곡선변화를 나타내고 있다. 가스침질탄화처리된 시편은 초기마모가 비교적 높았고, 미끄럼거리가 증가함에 따라 마모정도가 점차 감소하여 완만해졌다. 동일 하중에서

처리하지 않은 시편이 가스침질탄화처리된 시편에 비하여 초기마모량이 많았고 여기서 발생한 마멸입자(debris)가 핀과 디스크의 접촉면사이에 끼여서 마모거동에 영향을 미친다. 이로인해 핀의 마모길이가 오히려 급격히 감소함으로써 응착마모(adhesive wear)특성을 가짐을 (a)로부터 알 수 있다. 발생한 마멸입자는 마찰면에서 탈락하지 않고 마찰면사이에 존재할 때는 연마마모(abrasive wear)를 일으키고 마모가 거세게 일어날 것이고, 또한 응착마모의 주요 원인이 되는 것으로 생각된다. (b)의 AISI 51B37강의 시편은 (c)의 PSCP 32B강과 (d)의 AISI 1045강의 시편보다 비교적 두꺼운 화합물층과 깊은 확산층을 가지고, 화합물층과 확산층의 경도값이 높기 때문에 전체적으로 다른 강종에 비교하여 좋은 마모특성을 가지는 것으로 판단된다. 그리고 처리하지 않은 재료는 응착현상이 두드러지는 반면 처리재의 경우는 일부 하중

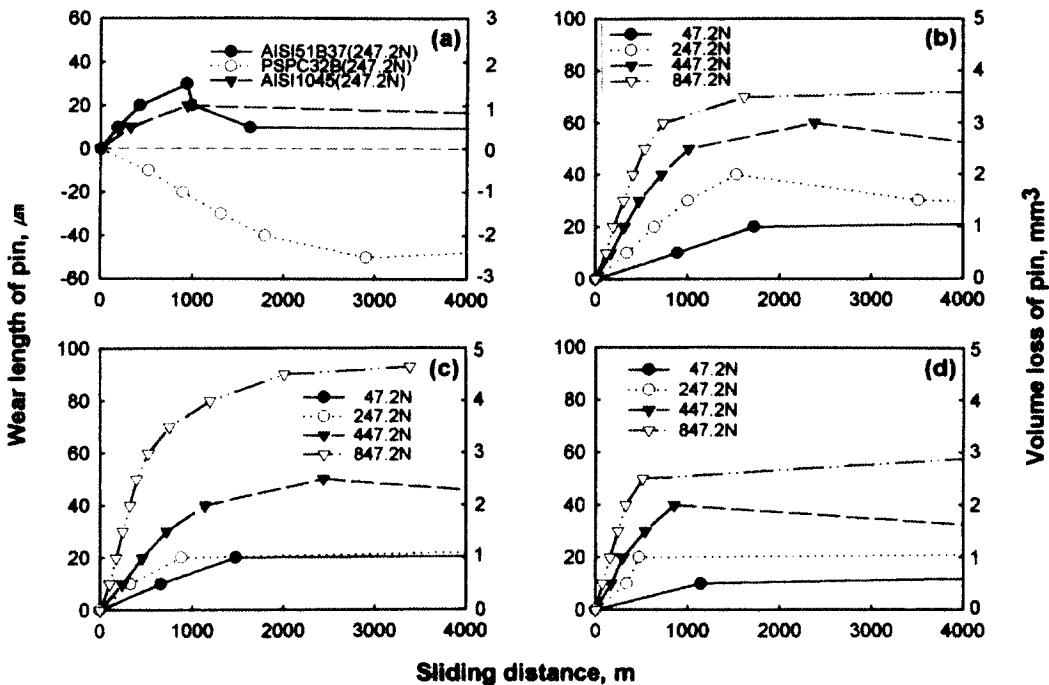


Fig. 4. Relationship between wear length of specimens untreated and nitrocarburised for 2 hours at 570 in the atmosphere of 40%NH<sub>3</sub>-4%CO<sub>2</sub>-56%N<sub>2</sub> gas mixture and sliding speed of 0.4m/s.

(a) Untreated pins (b) AISI 51B37 (c) PSCP 32B (d) AISI 1045

하에서 응착현상이 경미하게 관찰되었는데 이는 재료의 표면에 형성된 얇은 화합물층이 마모거동에 중요한 역할을 하는 것으로 생각된다.

Fig. 5는 0.4 m/sec의 미끄럼속도에서 63.2N의 하중을 가하여 기름윤활 마모시험을 한 결과 화합물층의 두께에 따른 마모길이와 체적마모량을 나타낸 것이다. 시험하중 63.2N에서 가장 얇은 미소다공층이 존재하고 AISI 51B37강과 AISI 1045강의 중간 경도값을 가지는 PSPC 32B강에 형성된 화합물층의 마모특성이 우수하였고 AISI 51B37과 AISI 1045강에 형성된 화합물층들이 PSPC 32B강에 비해 높은 마모정도를 나타내었는데 이는 상대적으로 두꺼운 미소다공층과 Fig. 6에서와 같이 저하중에서 PSPC 32B강보다 높은 마찰계수를 가지기때문인 것으로 생각된다. Fig. 6은 0.4 m/sec의 미끄럼속도에서 마모시험시 화합물층의 마찰계수 변화값을 시험하중에 따라 비교한 것이며 하중 247.2N까지는 급격한 감소를 보였고, 그 이상의 하중에서는 마찰계수값의 변화는 아주 완만하게 되었으며 고하중으로 갈수록 점점 일정한 값을 가졌다. 200~600N의 하중에서 AISI 1045강에 비해 고장력강과 스프링강이 비교적 높은 마찰계수값을

가졌으며 AISI 51B37강의 화합물층이 가장 높게 나타났으나 고하중으로 갈수록 그 차이는 현저히 감소하였다. 이러한 마찰계수의 특성을 고려할 때 화합물층의 마모시험시 마찰계수의 천이점이 되는 하중이 247.2N부근이라는 것을 알 수 있고 이 천이하중에서의 마찰계수는 AISI 51B37이 0.15로 가장 높고 PSPC 32B는 0.11이고 AISI 1045가 0.08로 가장 낮았다. 침질탄화처리에 의해 형성된 화합물층의 최외표면에 존재하는 미소다공층이 습식마모시험시에 유익한 구조로 보고 되고 있는데,<sup>14)</sup> 본 연구에서 실시되어진 마모시험에서는 각 재료에 대하여 미소다공층의 두께가 두꺼울수록 화합물층의 초기마모율이 비교적 높게 나타났으며, 그리고 이미 보고된 비윤활조건에서의 여러 마모시험들에서 나타난<sup>2),6),14),15)</sup> 마모특성들에 상대적으로 비교할 때 기름윤활조건하에서의 마모특성이 매우 우수하였다.

### 3.2.2 마모율 비교

본 연구에서는 0.4m/sec의 미끄럼속도에서 적용하중을 47.2N에서 1647.2N까지 변화시켜 마모시험한 결과 얻어진 마모곡선으로부터 화합물층이 모두 마모되었을 때의 미끄럼거리에 대한 핀의 마모

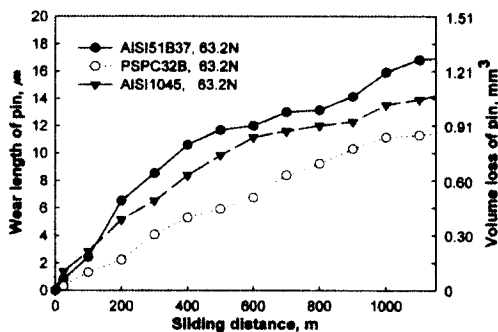


Fig. 5. Relationship between wear length and sliding distance at sliding speed of 0.4 m/s on the compound layer of specimens nitrocarburised for 2 hours at 570°C in the atmosphere of 40% NH<sub>3</sub>-4% CO<sub>2</sub>-56% N<sub>2</sub> gas mixture.

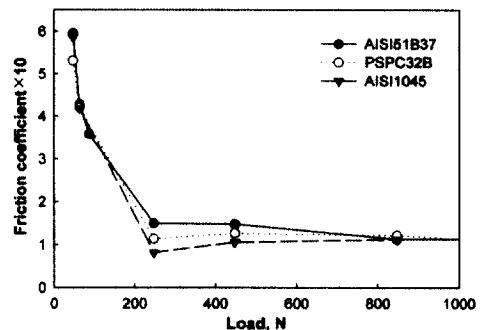


Fig. 6. Variation of friction coefficient in compound layer to transition load with sliding speed 0.4 m/s for specimens nitrocarburised for 2 hours at 570°C in the atmosphere of 40% NH<sub>3</sub>-4% CO<sub>2</sub>-56% N<sub>2</sub> gas mixture.

길이를 측정하여 화합물층의 마모율 (wear rate,  $m^{-1}$ )을 구하여 Fig. 7에 나타내었다. 비운환 상태의 핀-온-디스크형 마모시험에서는 처리재와 비처리재의 마모정도가 뚜렷하고 마모율은 처리재에 비해 무처리재의 경우가 훨씬 높다고 보고되어 있다.<sup>15)</sup> 그러나 본 연구에서의 기름윤활조건하에서의 마모시험에서는 그 차이가 두드러지지 않았고 처리하지 않은 재료는 처리재에 비해 247.2N이하의 하중에서는 마모율이 비교적 높았지만 그 이상의 하중에서는 오히려 감소하여 높은 하중일수록 완만한 곡선을 나타내었다. 이는 초기의 급격한 마모로 인한 마멸입자가 증가함에 따라 응착되었기 때문인 것으로 판단된다. 가스침질탄화처리에 의해 형성된 화합물층의 마모율은 비교적 일정하게 증가하였는데 미소다공이 가장 적게 형성된 PSPC 32B가 600N까지는 마모율이 낮았으며 600N 이상에서는 두꺼운 기공층을 가지는 AISI 51B37과 거의 일치하였으며 가장 낮은 경도값을 가지는 AISI 1045는 모든 하중에서 마모율이 비교적 높았다. PSPC 32B의 화합물층은 저하중에서는 마모율이 비교적 낮았지만 고하중에서는 다른 재료들에 비해 증가되었다. 반면에 AISI 51B37의 화합물층은 모든 하중에서 비교적 일정한 마모율의 증가를 보이고 있다. AISI 1045의 화합물층에 비해 고장력강

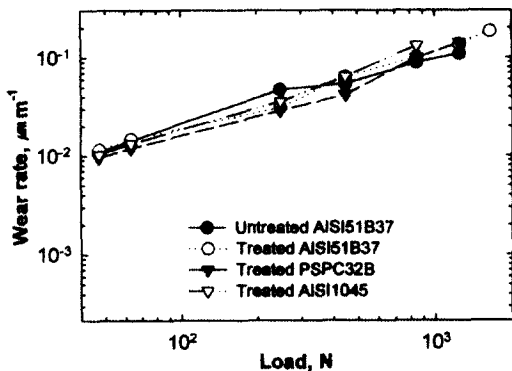


Fig. 7. Wear rate of specimens untreated and compound layers of specimens nitrocarburised at sliding speed of 0.4 m/s.

에 형성된 화합물층의 마모율이 낮았고 저하중과 고하중에서의 마모율의 증가폭은 아주 작은 차이지만 AISI 51B37이 가장 낮았다. 이는 가스침질탄화처리된 강중에서 AISI 51B37의 화합물층 및 확산층의 높은 경도값과 미세조직적 특성을 보아 화합물층과 기지조직의 높은 결합력 및 다공층에 존재하는 윤활기름의 영향때문으로 생각된다. 이 마모율의 비교는 동일 처리시간당 화합물층의 마모 특성을 비교한 것으로 각 화합물층의 두께가 다르므로 화합물층의 두께 단위당 마모특성을 살펴볼 필요가 있다.

### 3.2.3 화합물층의 마모수명

가스침질탄화처리된 강의 마모거동에 대한 주요 평가기준은 화합물층이 완전히 마모되어 없어질 때 까지의 마모거리인 화합물층의 마모수명 (wear life)을 나타내는 것이다. Fig. 8은 화합물층의 단위 두께 1 $\mu$ m에 대한 마모수명을 하중변화에 따라 나타낸 것이며 800N이하의 시험하중에서 가장 얇은 기공층을 가지는 PSPC 32B가 가장 우수하고 100N까지의 낮은 하중에서는 가장 두껍고 조대한

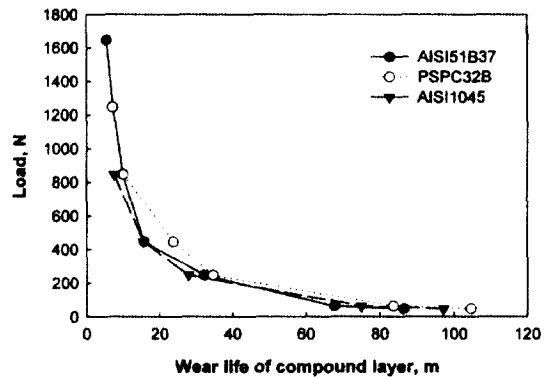


Fig. 8. Relationship between load and wear life (sliding speed 0.4m/s) per unit thickness of the compound layer for AISI 51B37, PSPC 32B and AISI 1045 steels nitrocarburised for 2 hours at 570 $^{\circ}$ C in the atmosphere of 40%NH<sub>3</sub>-4%CO<sub>2</sub>-56%N<sub>2</sub> gas mixture.

기공층을 가지는 AISI 51B37의 화합물층이 가장 짧은 마모수명을 나타내며, 하중이 증가할수록 조밀하고 두꺼운 기공층을 가지는 AISI 1045의 마모수명이 가장 짧음을 알 수 있다. AISI 51B37에 형성된 화합물층의 마모수명은 비교적 두꺼운 미소다공층을 가짐으로 인해 화합물층의 초기마모율이 높기 때문인 것으로 생각되고, PSPC 32B에 비하여 두꺼운 미소다공층을 가지는 AISI 1045의 화합물층이 비교적 마모수명이 짧은 것은 화합물층의 낮은 경도값에 기인하는 것으로 보인다. 이러한 사항들을 고려해볼 때 동일한 조건의 가스침질탄화 처리에 의해 형성된 화합물층의 마모수명은 AISI

1045에 비해 Cr, B등의 합금원소가 첨가된 AISI 51B37과 PSPC 32B에 형성된 화합물층이 더 우수한 것으로 판단된다.

3.2.4 미끄럼속도와 마찰계수

63.2N의 하중에서 28.94rpm에서 289rpm으로 변화시켜 1000m의 미끄럼거리에서 0.1~1 m/sec의 미끄럼속도로 가스침질탄화처리된 AISI 51B37의 시편을 기름윤활 마모시험하였다. 63.2N의 비교적 낮은 하중에서 미끄럼속도가 0.3 m/sec이하에서는 핀과 디스크사이의 접촉면사이에 기름이 존재함으로써 마모정도가 경미하여 더 이상 미끄럼마모가 일어나지 않았고 미끄럼속도가 증가할수록 마모정도가 증가하였다. 미끄럼속도를 변화시키기에 따른 마모특성을 Fig. 9에서 보여주는데 미끄럼속도가 증가함에 따라서 (a)에서 길이마모율이 증가하고 (b)에서는 마찰계수가 감소하며 (c)에서의 단위두

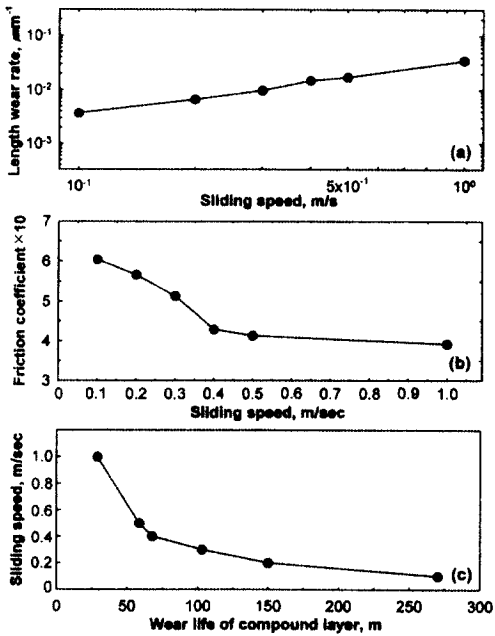


Fig. 9. Wear characteristics on various sliding speeds at load 63.2N for AISI 51B37 steel nitrocarburised for 2 hours at 570°C in the atmosphere of 40%NH<sub>3</sub>-4%CO<sub>2</sub>-56%N<sub>2</sub> gas mixture.  
 (a) Wear rates on various sliding speed  
 (b) Friction coefficients on various sliding speed  
 (c) Wear life of compound layer on various sliding speed

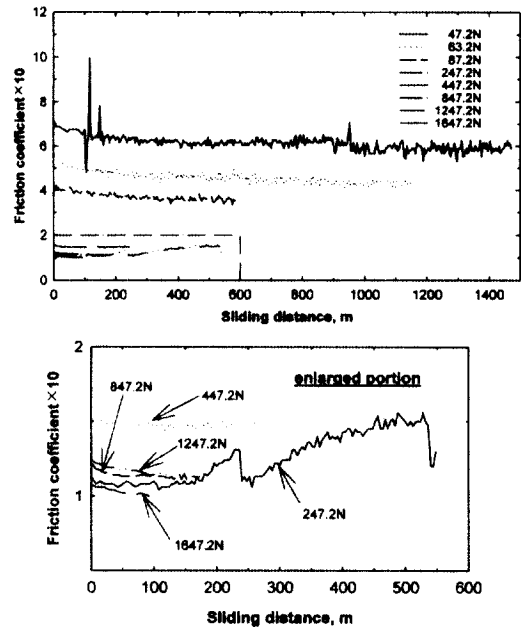


Fig. 10. Variation of friction coefficient with sliding distance at the sliding speed of 0.4m/s for AISI 51B37 steel nitrocarburised for 2 hours at 570°C in the atmosphere of 40%NH<sub>3</sub>-4%CO<sub>2</sub>-56%N<sub>2</sub> gas mixture.



계당 화합물층의 마모수명은 급격히 감소하고 있다. 이는 두 시편의 접촉면사이에 기름이 존재함으로써 낮은 하중에서는 두 접촉면의 밀착정도가 약하여 마찰계수가 높고 이로써 마모율 또한 낮으며, 높은 하중에서는 두 접촉면의 밀착정도가 강하여 마찰계수가 낮고 마모율이 높는데 이는 미끄럼속도가 증가됨에 따라 화합물층의 마모수명이 감소하는 것과 같은 현상으로 생각된다. Fig. 10은 가스침질탄화처리된 AISI 51B37의 시편을 기름윤활 마모시험시 시험하중을 변화시키기에 따른 화합물층의 마찰계수특성을 보여주는 것인데 하중 247.2N까지는 하중이 증가할수록 마찰계수가 급격하게 감소하였고 447.2N이상에서 미세하게 차이는 있으나 거의 비슷한 마찰계수를 가짐을 알 수 있다.

#### 4. 결 론

스프링강용 중탄소 보론강인 AISI 51B37, P.C강 선용 고장력 중탄소 보론강인 P5PC 32B 및 보통탄소강인 AISI 1045를 가스침질탄화처리후 실온의 기름윤활상태에서 적용하중, 미끄럼속도 및 미끄럼거리를 변화시켜 핀-온-디스크형 마모시험을 실시하여 화합물층의 마모특성에 미치는 영향을 연구한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) 화합물층의 마찰계수는 0.4m/sec의 미끄럼속도에서 기름윤활 마모시험시 하중이 증가할수록 급격하게 감소하며 고하중으로 갈수록 점차로 일정한 값으로 되고 마찰계수의 천이하중은 247.2N에서 나타난다.

2) 미끄럼속도 0.4m/sec에서 기름윤활 마모시험시 화합물층의 길이 및 체적마모율은 비교적 일정하게 증가하며 화합물층의 단위두께당 마모수명은 다공층이 조밀하고 얇을수록 우수함을 나타낸다.

3) 하중 63.2N에서 가스침질탄화처리된 중탄소 보론강을 미끄럼속도를 변화시켜 기름윤활 마모시

험시 미끄럼속도가 증가함에 따라 길이마모율은 증가하며 마찰계수는 감소하고 화합물층의 단위두께당 마모수명은 급격하게 감소한다.

#### 참고문헌

- 1) W. L. Grude and S. Verboff ; Surface Modification Engineering, 2 (1989) 107
- 2) Eiichi Takeuchi ; Iron and Steel 73', ISIJ, 2 (1987) 242
- 3) A. Wells ; J. Mater. Sci., 20 (1985) 2439
- 4) F. Li, D. Sun and B. Zhang ; Proc. of ASM's 2nd International Conference on Ion Nitriding and Ion Carburizing, 9 (1989) 75
- 5) H. J. Kim and J. F. Wallace ; Surf. Eng., 10 (1994) 56
- 6) A. Wells and M. P. Shaw ; Wear, 103 (1985) 29
- 7) M. B. Karamis ; Wear, 150 (1991) 331
- 8) M. B. Karamis ; Thin Solid Film, 217, (1992) 38
- 9) H. J. Kim and Y. G. Kweon ; Wear, 174 (1994) 201
- 10) J. F. Braza ; Tribology Trans., 35 (1992) 89
- 11) M. F. Danke and F. J. Worzala ; Mater. Sci. Forum, 102 (1992) 259
- 12) J. F. Braza and P. K. Pearson ; STP 1195, American Society for Testing and Materials, (1993) 49
- 13) M. M. Tosic and R. Gligorijeric ; Plasma Surface Engineering, (1989) 903
- 14) B. Yang, T. Ma and F. Zhang ; Wear, 129 (1989) 159
- 15) H. Kato, T. S. Eyre and B. Ralph ; Surf. Eng., 10, 1 (1994) 65