

Plasma Paste Boronizing법에 의한 Ni-Cr-Mo강의 붕화물층 생성거동과 내 토사마모특성에 관한 연구

조재현 · 박학균* · 손근수* · 윤재홍†* · 김현수** · 김창규***

(주)창원특수강, *창원대학교 금속재료공학과

한국전기연구원 전지연구그룹, *부경대학교 신소재공학부

A Study On the Sand Wear Resistance and Formation Behavior of Boride Layer Formed on Ni-Cr-Mo Steel by Plasma Paste Boronizing Treatment

J. H. Cho, H. K. Park*, K. S. Son*, J. H. Yoon†*, H. S. Kim** and C. G. Kim***

Changwon Specialty Steel Co., Ltd, Changwon 641-370, Korea

*Dept. of Metallurgy and Materials Science, Changwon National University, Changwon, Korea

**Battery Research Group, KERI, Changwon 641-120, Korea

***Division of Materials Science and Engineering, Pukyong National University, Busan, Korea

(2003년 8월 8일 받음, 2003년 12월 17일 최종수정본 받음)

Abstract The surface property and formation behavior of a boride layer formed on Ni-Cr-Mo steel in a plasma paste boronizing treatment were investigated. The plasma paste boronizing treatment was carried out at 973 ~ 1273 K for 1-7 hrs under the gas ratio of Ar:H₂ (2:1). The thickness of the boride layer increased with increasing temperature and time in the boronizing treatment. The cross-section of the boride layer was a tooth structure and the hardness was Hv 2000~2500. XRD analysis revealed that the compound was identified as FeB, Fe₂B, and mixed phase of FeB/Fe₂B in the boride layer formed at 973~1073 K, 1173K, and 1273K, respectively. The Ni-Cr-Mo alloy boronized at 1173~1273 K showed the best excellent wear resistance against the sand. As a results of corrosion test in 1 M H₂SO₄ solution, Fe₂B formed on the matrix alloy exhibited higher corrosion resistance than FeB.

Key words Plasma paste boronizing, Ni-Cr-Mo steel, FeB, Fe₂B, X-ray diffraction test, Boride layer, Sand wear resistance.

1. 서 론

각종 기계의 철강재료 기계부품들은 그 사용환경에 따라 사용 중에 마찰마모, 피로, 부식 등에 의해 부품이 손상되며, 따라서 기계의 성능 향상을 위하여 새로운 재료 개발 및 윤활 방법의 개선, 새로운 구조시스템의 설계 등 여러 가지 방법들이 검토되고 있으나 이들 중에서 경제성 등을 고려 할 때 표면개질법이 가장 많이 이용되고 있다.¹⁾ 가장 널리 이용되는 표면개질법에는 침탄, 질화 및 붕화처리법 등이 있다. 붕화처리(boronizing)법은 재료 표면에 붕소(boron)를 확산 침투시킴으로써 HV 1300~2100의 고경도 화합물층을 수백 마이크로미터까지 손쉽게 확보하고 재료의 내마모성과 내부식성 및 내고온산화성 등을 향상시킬 수 있는 기술이다. 붕화처리는 기체법, 용융염전해법, 염욕침적법, 고체분말법, 페이스트법 등이 독일, 러시아, 일본에서 개발되었다.^{2,3)} 그러나 종래의 이러한 방법들은 처리시간이 장시간 소요될 뿐만 아니라 침붕제의 유독성과 폭발의 위험성으로 인하여 새로운 처리

방법인 플라즈마 페이스트에 의한 붕화처리법이 활발히 연구되고 있다. 플라즈마 붕화처리법은 글로우 방전에서 플라즈마의 높은 에너지를 이용하여 붕화물층을 형성하는 표면처리법으로서, 에너지 효율이 높으며, 낮은 처리 온도, 저온 처리에 의한 변형 방지 및 공해 문제가 발생되지 않는 이점을 가지고 있다.

이제까지는 플라즈마 붕화처리법에서는 보론원료 가스로서 BCl₃, B₂H₂ 가스 등을 사용하여 왔으나 독성 및 폭발 위험성과 붕소 염화물로 인한 진공반응로의 부식 등 여러 가지 단점을 가지고 있다. 이러한 단점을 보완하기 위해 글로우 방전에서 비정질 보론(amorphous boron)과 borax(Na₂B₄O₇), 그리고 기타 침붕화합물의 혼합물을 시편에 도포하여 침붕처리하는 방법이 효과적이라고 최근에 알려져 있다.⁴⁾ 플라즈마 페이스트 붕화처리법(plasma paste boronizing)은 취급하기 용이한 페이스트를 피처리재의 표면에 선택적으로 도포하고 플라즈마를 형성시켜 붕화처리를 실시하는 것으로서 피처리재만 가열되어 종래의 처리방법보다 에너지 효율이 높고, 처리속도가 신속할 뿐만 아니라, 재료비가 적게 들어 경제적이며, 처리가능온도를 낮춤으로써 피처리재의 변형을 감소시킬 수

†E-Mail : jhyoon@sarim.changwon.ac.kr

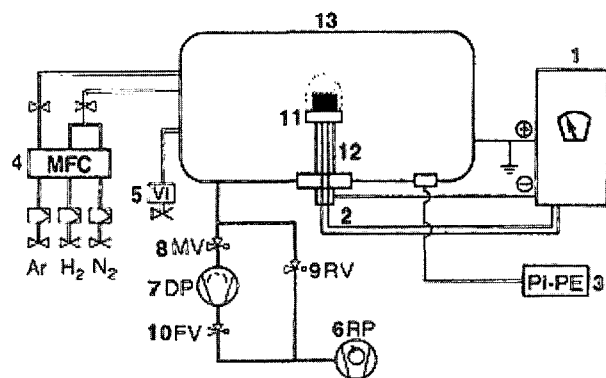
있다. 본 실험에서 적용한 플라즈마 페이스트 불화처리법은 FeB, Fe₂B 등의 철-보론 화합물을 생성하여 HV 2000~2500 정도의 높은 표면경도를 얻을 수 있으며, 생성된 화합물에 의한 압축 잔류응력이 제품의 표면에 생성되어 부품의 피로 강도가 향상되는 등의 장점이 많으므로 보론을 이용한 표면개질법의 실용화 수요도 점점 증가되는 추세이다.^{2,3)}

실험용 시료는 중탄소 함량을 갖는 Ni-Cr-Mo강으로, 이 구조용 합금강은 일반적으로 담금질 및 뜨임 열처리를 실시하며, 첨가원소의 영향으로 담금질 특성이 우수하고 내부까지 높은 강도를 얻을 수 있다. 그리고 Ni-Cr-Mo강으로 제작된 기계부품은 사용환경에서 반복응력에 의한 피로파괴와 마찰마모에 의해 그 성능이 약화되고 있으므로, 본 연구에서는 기계부품용으로 널리 사용되고 있는 Ni-Cr-Mo강의 표면특성을 향상시키기 위하여, 플라즈마 페이스트 질화처리를 실시하여 Ni-Cr-Mo강에 대한 질화물 형성거동과 내 토사마모특성을 조사하였다.

2. 실험 방법

2.1. 실험장치 및 시험편

본 실험에 사용된 플라즈마 페이스트 침봉장치는 Fig. 1에 나타난 개략도와 같이 진공반응로, 전원공급장치, 가스공급장치, 진공배기장치 등으로 크게 구분할 수 있다.⁵⁾ 진공반응로의 크기는 높이 400 mm, 직경 300 mm로 제작하였으며, 시험편의 온도는 진공반응로의 외부에 설치한



- 1 : Power supply
- 2 : Thermocouple
- 3 : Pirani / Penning gauge
- 4 : Mass flow controller
- 5 : Vent valve
- 6 : Rotary pump
- 7 : Diffusion pump
- 8 : Main valve
- 9 : Roughing valve
- 10 : Foreline valve
- 11 : Specimen holder
- 12 : Cathode
- 13 : Anode

Fig. 1. Schematic diagram of plasma paste boronizing apparatus.

Table 1. Chemical composition of Ni-Cr-Mo steel.

C	Si	Mn	P	S	Cu	Ni	Cr	Mo	Fe
0.41	0.24	0.72	0.015	0.016	0.19	1.0-1.5	1.00	0.16	Bal

적외선 방사 온도계(Minolta camera Co. Ltd. IR-630)로 사용하여 측정하였으며, 실험에 사용한 Ar, N₂, H₂ 가스의 유량은 MFC를 사용하여 제어하였다. 진공배기 장치로서는 로터리 밴 펌프(Alcatel 2008A, France)와 확산 펌프를 사용하였고, 진공도는 피라니 게이지(Balzers, TPR-010)와 페닝 게이지(Balzers, IKR-020)를 사용하여 측정하였다. 실험에서 사용한 시험편은 $\phi 15 \text{ mm} \times 4 \text{ mm}$ 의 크기로 절단하고, 균일한 침봉층 형성을 위하여 표면을 다이아몬드 페이스트(1 μm)로 정밀 연마하여, 아세톤 용액에서 10분간 초음파 세척하여 건조시켜 실험에 사용하였다. 그리고 실험에 사용한 Ni-Cr-Mo강의 화학조성은 Table 1과 같다.

2.2. 플라즈마 페이스트 침봉처리

글로우 방전 시에 이물질들에 의한 아크발생을 최소화하기 위해 진공반응로 내부를 에탄올과 아세톤으로 충분히 세척, 건조한 후 시험편을 장입하였다. 초기진공도 $5.5 \times 10^{-3} \text{ mbar}$ 로 유지한 상태에서 H₂가스를 40 sccm 정도로 반응용기 내부로 공급하면서 서서히 전압을 증가시켜 플라즈마를 발생시켰다. 초기 플라즈마 상태에서는 시험편, 시험홀더와 시험편 주위의 불순물로 인하여 다소 아크가 발생되므로 낮은 전압에서 30 min 정도 유지하였다. 그 후 아크발생이 관찰되지 않으면서 플라즈마가 안정화된 후, Ar가스를 20 sccm의 유량으로 반응용기 내부로 흘려주면서 전압을 50 V씩 순차적으로 올리면서 승온을 하였고, 승온 주기를 5~10 min의 간격을 유지하였다. 플라즈마 페이스트 침봉처리 조건은 주입기체인 Ar과 H₂가스를 Ar/H₂:2/1의 혼합비로 공급하고, 순도 99.999% 이상의 Ar, H₂ 가스를 사용하여 산소에 의한 시험편의 표면산화물을 최소화하였으며, 일정온도에 도달하면 방전전압을 동일하게 유지시켰다. 그리고 침봉처리용 페이스트는 비정질 보론과 borax를 boron/borax = 3/7의 혼합비율로 하여 제조하였으며,⁶⁾ 처리조건은 Table 2에 나타난 것과 같이 973, 1073, 1173, 1273 K의 온도에서 각각 1시간, 3시간, 5시간, 7시간 동안 침봉처리를 실시하였다.

2.3. X-선 회절시험 및 단면경도분포

침봉 층의 깊이와 단면 미세 조직변화를 조사하기 위

Table 2. Plasma paste boronizing process parameter.

Workink temperature (K)	Holding time (hr)	Working pressure	Gas mixing ratio
973	1		
1073	3		
1173	5	3(Torr)	Ar:H ₂ ≐ 2:1
1273	7		

하여 시편을 절단하여 수지 mounting 한 후 3 μm 다이아몬드 페이스트로 polishing하여 4% Natal 용액으로 부식시켜 광학현미경을 사용하여 시편표면에 형성된 붕화물 층의 단면 미세조직을 관찰하였다. 붕화물 층의 단면경도분포는 Micro Vickers 경도시험기를 사용하여 측정하였고, 인가하중은 25 g, 하중 인가시간은 20 sec로 하였다. 또한 표면에 생성된 붕화물의 종류를 분석하기 위하여 X-선 회절시험(Rigaku D-max 3c, target: Cu, voltage/current: 0KV/15mA, scanning speed:4°C/min, scan range start: 20°C, scan range stop: 90°C)을 실시하였다.

2.4. 마찰마모시험

플라즈마 페이스트 침봉처리에 의해 생성된 붕화물 층의 내마모성을 평가하기 위한 모래 스크래칭 어브레이전 마모시험기는 ASTM에서 규격화된 것을 이용하였으며 장치의 개략도를 Fig. 2에 나타내었다. 이때 사용한 모래는 오븐에서 건조하여 습기를 완전히 제거하였으며, 간격 1 mm의 Mesh를 이용하여 입도를 균일하게 하였다. 마모시험용 시편의 치수는 25 mm×75 mm×8 mm이며, 시편에 작용되는 하중은 추로써 조절하였는데 5, 7.5, 10, 12.5, 15 kgf의 수직하중 조건에 따라 시험하였다. 휠의 회전속도는 50 rpm으로 고정하였으며, 이것은 휠 직경 φ220 mm를 고려했을 때 34.5 m/min의 미끄럼 속도에 해당하는 것이다. 이때 휠의 회전수는 매우 중요하며 미끄럼 거리를 10 m로 하기 위하여 휠의 회전수를 14.5회를 단위시험으로 하였다. 마모시험 후의 시편의 마모량의 변화는 중량 감소량으로부터 측정하였고, 중량변화의 측정은 일본Chino사의 JP2-160 전자저울을 이용하여 0.001 mg 오차범위 내에서 측정하였다.

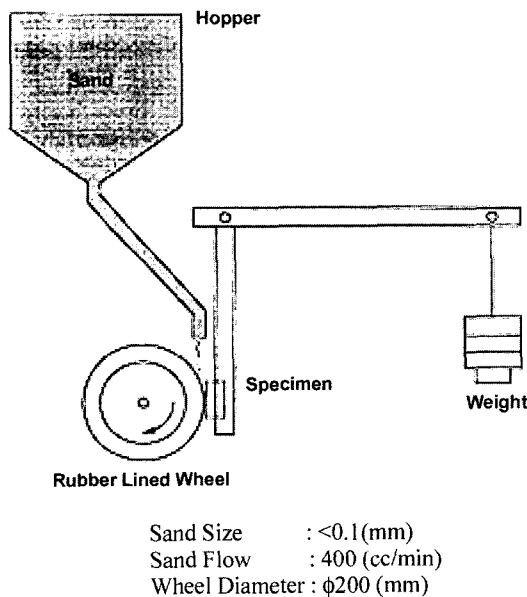


Fig. 2. Schematic diagram of dry-sand/rubber-wheel for scratching abrasion wear apparatus (ASTM G65).

2.5. 부식실험

플라즈마 페이스트 침봉처리한 시편의 내부식성을 1 M의 H₂SO₄ 용액 중에서, 동전위법으로 양극 분극곡선 (Anodic polarization curve)을 측정하였다. 이때 기준전극으로는 포화 칼로멜 전극(Saturated Calomel Electrode)을 사용하였다. 실험용액은 Ar가스로 1시간동안 탈기하여 용존산소를 완전히 제거한 후 사용하였으며, 시편의 노출면적은 1 cm², 전위의 주사속도는 1 mV/min로 하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 붕화물층의 형성거동

Ni-Cr-Mo강을 973 K에서 1273 K까지 100 K 간격으로 각각 1, 3, 5, 7 hr을 플라즈마 페이스트 침봉처리한 후에 생성되는 붕화물 층의 미세조직을 Fig. 3과 Fig. 4에 각각 나타내었다. Fig. 3과 Fig. 4를 관찰하여 보면 침봉처리 시간과 온도가 증가할수록 붕화물 층의 깊이도 증가하였으며, 생성된 붕화물 층에 기공들이 많이 존재함을 알 수 있다. 또한 처리시간이 증가함에 따라 붕화물

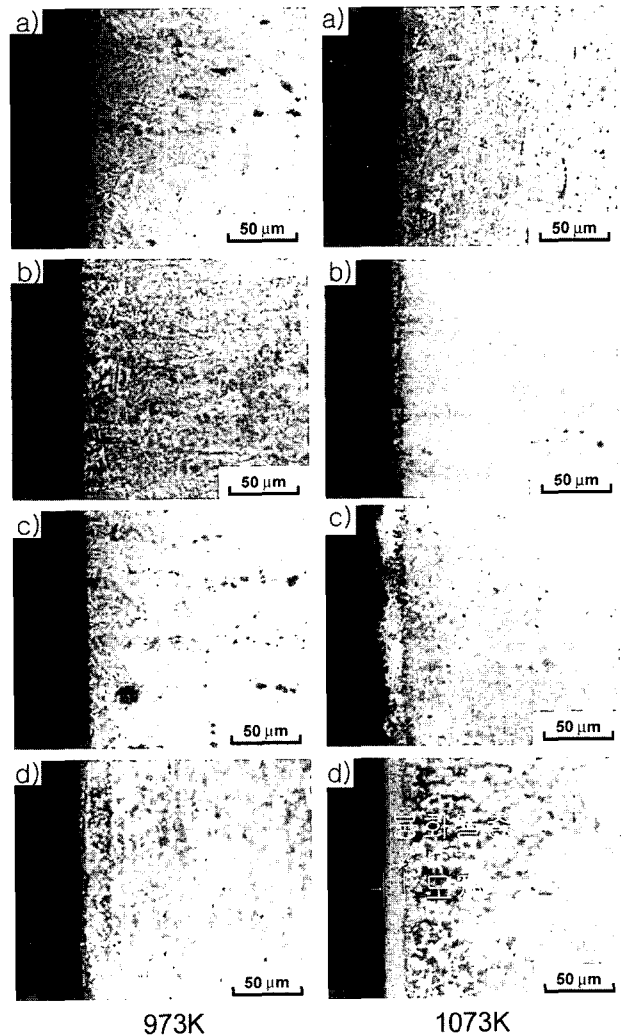


Fig. 3. Optical micrographs of boride layer at various times in 973K and 1073K : (a) 1hr, (b) 3hr, (c) 5hr, (d) 7hr.

층의 깊이도 깊어질 뿐만 아니라, 봉화물의 주상정 형태의 조직도 성장하여 치상조직(tooth structure)의 끝 부분이 무디어지는 양상을 보이고 있다. 봉화물 층의 미세 조직이 가지는 특징은 치상조직을 나타내므로 내 박리특성이 대단히 우수하다. 그리고 이러한 치상조직을 이루는 이유에 대한 연구결과를 종합하면, 정방정 격자 내에서의 확산계수가 뚜렷한 이방성을 나타내는 관계로 치상구조를 이루는 것으로 밝혀졌다.^{7,8)} 특히, Hunger 등⁸⁾은 최근의 연구에서 [110]방향에서 붕소원자의 확산속도가 가장 빠르므로, 봉화물 층이 [110] 방향으로 발달하는 경향이 강하다고 보고하였으며, Beresnev 등의 연구에 의해 FeB와 Fe₂B의 성장방향도 거의 같은 것으로 밝혀졌다.⁹⁾ 또한 단면 조직사진에서 표면에 가까운 위치에 미세한 기공들이 관찰되고 있는데, 이것은 주상정(Columnar) 조직성장 시에 이웃하는 주상정(Columnar)조직과의 계면에서 Fe성분의 감소와 가스방출로 인해 생성되었다고 사료된다. 또한 이러한 기공 외에도 미소균열이 관찰되는데, 이것은 침봉처리 후 냉각 중에 생기는 침봉 층 내의 FeB층의 인장 잔류응력과 Fe₂B층의 압축 잔류응력의

차이와, 그리고 FeB층과 Fe₂B층 사이의 열팽창계수의 차이로 인하여, FeB층과 Fe₂B층의 계면에서 이러한 미소한 균열이 발생하였을 가능성이 높다고 사료된다.¹⁰⁾

이러한 균열은 FeB가 적을 때는 Fe₂B층의 내부에서 주로 관찰되고, FeB층의 생성속도가 빨라서 FeB층의 두께가 두꺼울 경우에는 FeB층과 Fe₂B층 사이의 계면에서 균열이 발생하는 양상을 보이고 있다. 그러므로 보론의 봉화물 생성속도가 보론의 내부로의 확산속도보다 매우 빠른 고온에서 장시간 침봉처리를 실시하면 FeB층이 지나치게 두껍게 형성되어 오히려 침봉층 내에 미소균열이 발달하여 봉화물 층의 박리를 초래하기 쉬우므로 고온에서 장시간 침봉처리를 실시하는 것은 결코 바람직하지 못하다고 사료된다. 그러나 각종 기계부품의 표면에 원하는 두께의 봉화물 층을 형성시키기 위해서 장시간 봉화처리를 실시해야만 하는 경우에는 일단 봉화처리를 실시한 후에, 1300 K 정도에서 FeB의 생성자유에너지가 $\Delta G_{FeB}^0 = -64$ KJ이고, Fe₂B의 생성자유에너지가 $G_{Fe_2B}^0 = -66.3$ KJ인 점을 이용하여, 침봉처리 직후에 확산 풀림처리를 실시함으로써, FeB를 Fe₂B로 분해시키고, 침봉층 내의 잔류응력을 제거할 필요가 있다. 그리고 1273 K에서 5시간 봉화처리한 시편의 경우에, 단면조직관찰을 위해 절단한 시편의 단면을 관찰하여 보면, 앞서서 언급한 것과 같이, FeB층과 Fe₂B층 사이에 국부적인 균열이 관찰되었다.

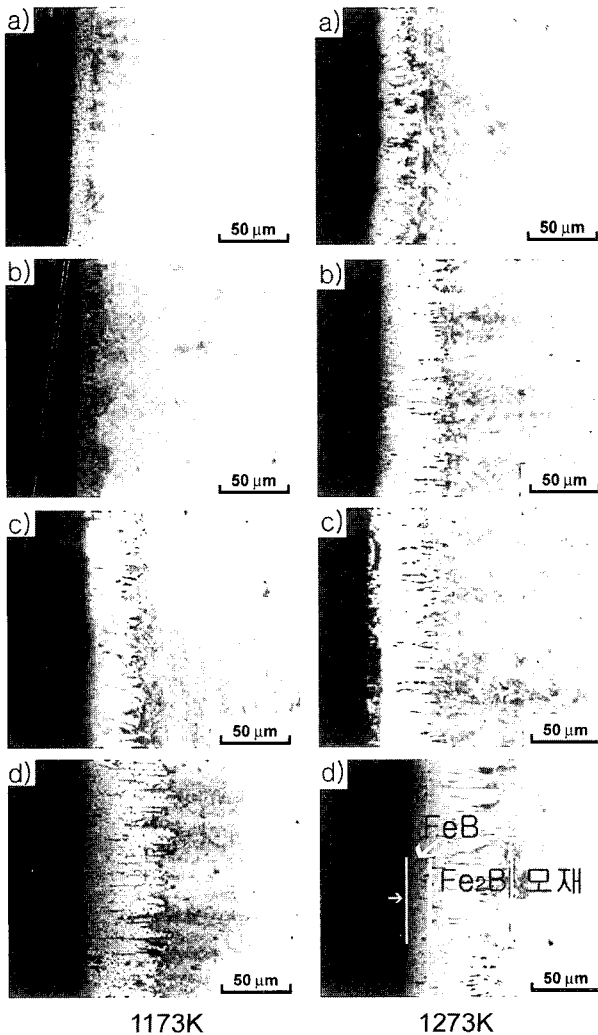


Fig. 4. Optical micrographs of boride layer at various times in 1173K and 1273K : (a) 1hr, (b) 3hr, (c) 5hr, (d) 7hr.

3.2. 봉화물 층의 단면 경도분포

플라즈마 페이스트 침봉처리한 시편의 단면 경도분포 변화를 Fig. 5와 6에 각각 나타내었다. 973 K와 1073 K에서 침봉처리한 경우에는 보론이 내부로 확산하여 두꺼운 봉화물 층을 형성하기에는 온도와 시간이 충분하지 않아서 생성된 봉화물 층의 두께가 얇고, 또한 경도측정 시에 봉화물 층의 파괴로 인하여 25 g의 경도측정 하중으로는 경도측정에 어려움이 많았다. 그러나 1173 K와 1273 K의 침봉처리 온도에서는, 어느 정도 봉화물 층이 두껍게 형성되어서, 최 표면 층 근처의 경도가 대체로 HV 2000~2500 정도로 매우 높은 값을 나타내었다. 그

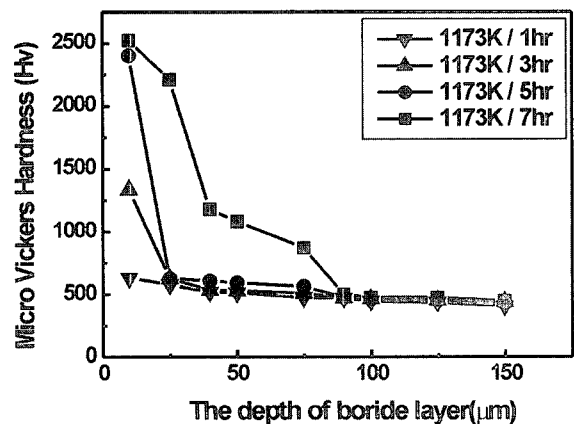


Fig. 5. Hardness profiles of boride layer at various times (117 K).

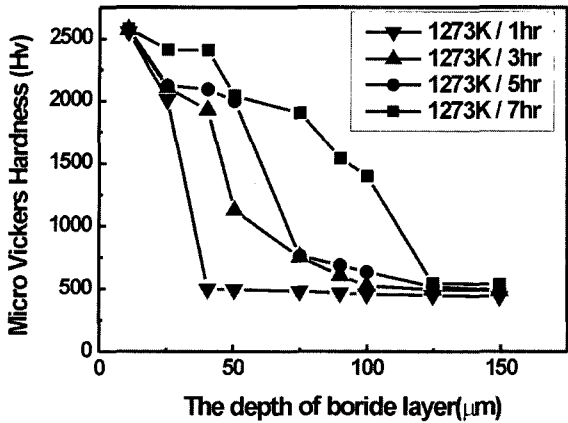


Fig. 6. Hardness profiles of boride layer at various times (1273 K).

리고 측정된 단면경도분포의 변화를 관찰하여 보면, 표면에서 내부로 갈수록 단면경도가 빠르게 감소하다가, 일정깊이 이상부터는 경도가 서서히 감소는 변곡점이 존재하여 서서히 경도가 감소하다가, 다시 경도가 급격히 감소하여 기지조직의 경도 값과 일치하는 단면경도분포의 변화경향을 보여주고 있다. 이와 같이 표면근처가 HV 2000~2500의 높은 경도를 나타내는 것은, 표면근처에 Fe₂B보다 경도가 높은 FeB 붕화물 층이 생성되었기 때문이고, 일정깊이 이상부터 경도가 서서히 감소하는 경도변화의 변곡점이 존재하는 것은 FeB층보다도 경도가 낮은 Fe₂B층이 내부에 일정두께 이상으로 생성되었기 때문이라고 사료된다. 이때 Fe₂B층의 경도가 내부로 갈수록 서서히 감소하는 것은 치상조직이 발달함에 따라서 Fe₂B 층과 내부 기지조직의 경도가 혼합되어 측정되기 때문이라고 사료된다. 그리고 이상의 단면경도분포의 측정결과와 Fig. 4의 단면조직으로부터 관찰된 붕화물 층의 두께변화는 대단히 잘 일치하고 있음을 알 수 있었다.

3.3. 붕화물 층의 상분석

플라즈마 페이스트 침봉처리한 시편의 표면에 생성된 붕화물의 종류를 확인하기 위하여 X-선 회절분석 실험한 결과를 Fig. 7에 나타내었으며 전체적으로 볼 때 Ni-Cr-Mo강의 표면에 생성된 붕화물은 주로 FeB와 Fe₂B 층으로 이루어져 있음을 알 수 있다. 973 K에서 형성된 붕화물은 주로 FeB로 구성되어 있고, 침봉처리온도가 증가할수록 FeB 붕화물의 상대적인 양이 감소하고 Fe₂B 붕화물이 증가하는 경향을 나타내며, 1173 K에서는 Fe붕화물 층이 주로 Fe₂B 붕화물로 구성되어 있음을 간접적으로 시사하고 있다. 그러나 1273 K의 붕화처리 온도에서는 다시 FeB 붕화물이 생성되기 시작하여 Fe₂B 붕화물과 FeB 붕화물의 피크강도가 비슷한 크기를 나타내고 있다. 이것은 973 K와 같은 낮은 온도에서는 붕소가 내부로 확산하여, 먼저 최표면층 근처에서 FeB 붕화물 층을 형성하고, 1073 K, 1173 K로 침봉처리온도가 증가하면 붕

소의 확산속도가 빨라져서 내부로 빠르게 붕소가 확산하면서 최표면 층에 형성되는 FeB층의 안쪽에 더욱 빠른 속도로 두꺼운 Fe₂B 층이 형성된다고 생각된다. 그러나 1273 K로 침봉처리 온도가 증가하면 다시 FeB 붕화물이 증가하기 시작하는 것은, 침봉처리온도의 증가로 인하여 표면층 근처에서의 활성붕소원자의 농도가 증가 할 뿐만 아니라 붕화물 형성속도도 빠르므로, FeB 층의 생성이 촉진되고, 이 생성된 FeB층은 기지조직 내부로 확산해 들어가는 붕소원자의 공급을 방해하는 확산장벽의 역할을 하여, 결국은 다시 FeB층의 생성을 조장하였다고 사료된다.

3.4. 붕화물층의 토사마모 특성

플라즈마 페이스트 침봉처리한 시편의 내 토사 마모특성을 조사하기 위하여, 각각의 온도에서 5시간 동안 침봉처리한 시편에 대한 토사마모시험을 실시하여 그 결과를 Fig. 8에 나타내었다. 실험결과에 의하면 1073 K에서 침봉처리한 시편의 경우는 Sliding 거리 약 20 m까지의 초기마모에서는, 973 K에서 침봉처리한 시편보다, 일

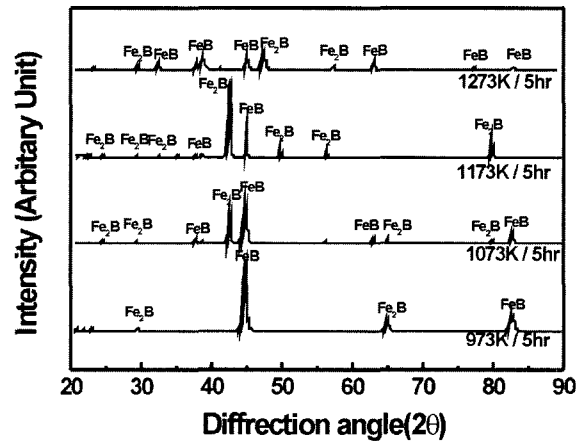


Fig. 7. X-ray diffraction patterns of the boride layers at various temperatures for 5 hrs.

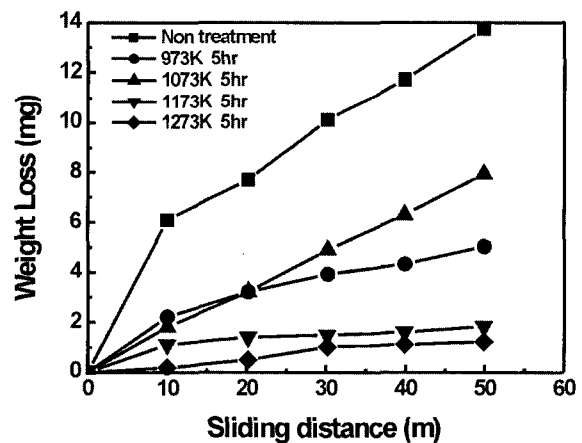


Fig. 8. Variation of sand wear resistance of the boride layers formed at various temperature.

시적으로 더 많은 무게감량을 보이는데, 이것은 침봉처리온도가 1073 K일 때에는 973 K일 때보다도 붕화물 층의 표면조도가 좋지 못하기 때문이라고 사료된다. 한편 침봉처리온도가 1073 K 이상, 그리고 Sliding 거리 약 20 m부터는 침봉처리온도가 증가함에 따라 내 토사마모 특성이 우수한데 이것은 전체 붕화물층 중에서 외층에 존재하는 FeB에 비하여 내층의 Fe₂B의 상대비율이 증가할 뿐만 아니라, 붕화물 층의 표면근처에 높은 정도의 안정한 FeB층이 형성되었기 때문이라고 사료된다. 그래서 1273 K에서 침봉처리한 시편의 경우는 무처리한 시편에 비하여 14배, 973 K에서 침봉처리한 시편에 비해서는 8 배, 1073 K에서 침봉처리한 시편에 비해서는 4.5배, 1173 K에서 침봉처리한 시편에 비해서는 1.5배의 내 토사마모성의 향상효과를 나타내었다.

3.5. 붕화물층의 부식특성

붕화처리온도가 부식특성에 미치는 영향을 알아보기 위하여 각각의 온도에서 5시간 plasma paste boronizing 처리한 시편의 부식특성을 1 M H₂SO₄ 용액 중에서 조사하여 그 결과를 Fig. 9에 나타내었다. 전체적인 Icor는 크게 변화하지는 않지만, Plasma paste boronizing 처리온도가 증가함에 따라 부식전위는 변화하고 있다. 973 K에서 5시간 붕화처리한 시편의 경우는 무처리 시편과 거의 같은 부식거동을 나타내고 있으며 1073 K의 경우도 Ecor는 상당히 높아졌음을 알 수 있다. 여기에서 1073 K 이하의 저온에서 처리한 시편과 1173 K 이상의 고온에서 처리한 시편의 Ecorr가 상당히 차이가 있

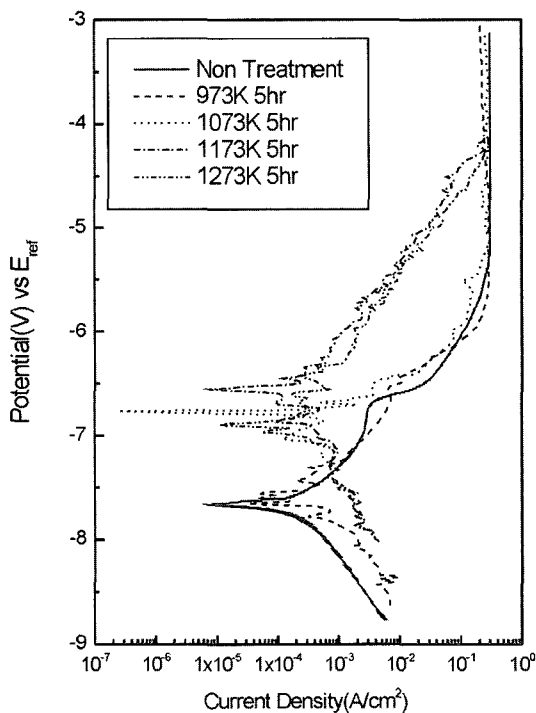


Fig. 9. Potentiodynamic curves of the borided specimen in 1 M H₂SO₄ solution at 25°C. (Treatment time is fixed at 5 hrs)

음을 알 수 있는데 온도에 따른 Ecor의 변화를 살펴본 결과 처리온도가 증가할수록 Ecor가 높아지는 것을 알 수 있다.

부식실험은 시험편의 표면과 밀접한 관련이 있다. 따라서 X선 회절시험 결과와 비교하여 보면 FeB가 생성되는 973 K에서는 시험편의 Ecor가 상당히 낮게 나타나지만 Fe₂B가 나타나는 1173 K에서는 가장 Ecor가 높게 나타나고 있으며 다시 FeB가 나타나는 1273 K의 경우에는 다시 Ecor가 약간 낮게 나타나고 있다. 이 결과로부터 FeB 보다는 Fe₂B가 내식성이 높으며, 시험편의 표면에는 Fe₂B가 생성되는 것이 내식성 면에서는 바람직하다고 사료된다.

4. 결 론

플라즈마 페이스트 침봉처리가 Ni-Cr-Mo강의 표면물성 향상에 미치는 영향을 붕화물 층의 형성거동과 내 토사마모시험을 실시하여 조사하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 붕화처리 온도 및 시간이 증가함에 따라 붕화물층의 두께가 증가하였으며, 붕화물층의 미세조직은 치상조직으로, 이는 열확산 붕화처리에서 얻을 수 있는 붕화물과 동일 거동을 보였다.
2. Plasma Paste Boronizing처리의 복합 붕화메카니즘을 이용하여 열확산 붕화처리 온도보다 낮은 1073 K에서도 붕화처리가 가능하였으며, 붕화물층의 최고경도는 Hv2000~2500이었다.
3. 붕화물층을 구성하는 화합물은 B의 확산속도가 느린 973, 1073 K에서는 FeB, 1173 K에서는 Fe₂B, 1273 K에서는 반응 계면의 B농도가 높아 FeB 및 Fe₂B의 화합물층이 생성되었다.
4. 붕화물층에 대한 토사내마모성시험 결과는 붕화처리에 의해 내마모성이 개선되었으며 1173, 1273 K에 생성된 붕화물층의 내마모성은 7~14배 향상되었다.
5. 붕화물층에 대한 부식실험 결과 FeB보다는 Fe₂B가 내식성이 높으며 표면에는 Fe₂B가 생성되는 것이 붕화물층의 내식성을 높이는데 유리하였다.

감사의 글

본 연구는 한국과학재단 지정 창원대학교 공작기계기술연구센터(RRC)와 창원대학교 교내 학술연구비 지원에 의하여 수행된 것으로 지원에 감사 드립니다.

참 고 문 헌

1. J. Rus, C. Luis De Leal, and D. N. Tsipas, J. of Materials Science Letters, 4 (1985) 558.
2. Y. K. Jee, Changwon Univ. Master Dissertation (1994).
3. B. M. Cha, Changwon Univ. Master Dissertation (1994).
4. S.A Isakov and S.A Ai tshuler, Mogilev Techological

- Institute, Translated from Metal Ovedenniei Termicheskaya Obrabofka Metallov, No. 3, (1987) 5.
5. M. S. Son, Changwon Univ. Master Dissertation (1995).
 6. S. D. Lee, Changwon Univ. Master Dissertation (1995).
 7. ASTM, Wear and erosion, Metal corrosion, Section 3, (1998) 97.
 8. L. S. Ljachovic and S. S. Bragilevskaja, Metalloved. term. obr. metallov, **6** (1972) 49.
 9. Badni C. and Mazza D., J. Mat. Sci. Lett., **7** (1988) 661.
 10. H. J. Hunger and G. Trute, Heat Treatment of metals, **11** (1991) 3.