

|||||||
論 文
|||||||

Fe, Cr, Mn, Si, Ni의 첨가에 의한 고력황동의 미세조직과 마모특성

박재용 · 강춘식 · 신윤호 · 배정찬*

Microstructure and Wear Properties of High Strength Yellow Brass by Addition of Fe, Cr, Mn, Si and Ni

Jae-Yong Park, Choon-Sik Kang, Yun-Ho Shin and Jeong-Chan Bae*

Abstract

The purpose of this study is to improve hardness and wear resistance of high strength yellow brass by adding Fe, Cr, Mn, Si and Ni. Results showed that NiO, FeCr₂O₄ and intermetallic compound Mn₅Si₃ were produced when Ni, Fe-Cr and Mn-Si were added to the yellow brass. The hardness and wear tests showed the best results with the presence of the product precipitates and intermetallic compound. The calculation of relative wear resistance by volume fraction of each phases showed that the relative wear resistance of Mn₅Si₃ had the highest value, that of β phase had the lowest. Observation of the worn surface showed that the main wear mechanism were found to be the abrasive wear, and also showed that the wear is caused by mechanical failure at the early stage. (Received March 13, 1997)

1. 서 론

비교적 고강도 황동으로 알려진 6:4 황동은 여러 가지 구조용 재료로 이용되며, 특히 이를 기지로 하여 금속간화합물을 분산시킨 고력황동은 윤활유와의 젖음성이 뛰어나기 때문에, 내마모 특성이 낮음에도 불구하고 자동차용 내마모 재료로 많이 사용되고 있다. 또, 윤활재가 끊어질 때에도 소착성이 작으며, 기계적 성질이 높고 안전성이 좋기 때문에 하중, 불순물 존재, 윤활 불안전 등의 악조건에서 사용되는 부품에 적당하다[1-2].

일본의 경우, 이미 십 수 년 전부터 동합금의 분류 및 각 동합금들의 기계적 성질, 내마모성에 관한 자료 및 기술을 정립하여 황동계의 고력 내마모성 소재를 제조하여 각 종 기계류의 내마모성이 요구되는 부품들에 적용하고 있으나 우리나라에서 이에 관한 연구는 흔치 않은 실정이다[3].

이에 본 연구에서는, 기타원소의 첨가에 의한 새로운 황동합금의 제조와 그에 따르는 내마모 특성, 고용강화 효과와 금속간화합물의 영향에 초점을 맞추어, 원심주조법을 통해 제조한 고력황동의 마모시험을 통

해서 첨가원소에 따른 마모 특성 및 기구를 살펴보고, 고용강화와 금속간화합물이 내마모성에 미치는 영향을 찾고, 일반적으로 알려져 있는 경도와의 상관관계도 분석해 보고자 한다.

2. 실험 방법

고력황동합금은 고주파유도로 용해한 후 원심주조기로 제작하였다. 원심주조기의 주형 회전수는 1300 rpm 주형 표면 온도를 400°C, 주입 속도를 4 kg/sec로 하였다. 원심주조기로 직경 35 cm, 두께 2 cm, 길이 1 m의 관을 제작한 후 관의 중심부에서 길이 방향으로 자른 후 시험편을 채취하였다. 마모시험에서 사용한 시험편의 크기는 4×4×55(mm)이고 성분은 Table 1과 같다.

성분 분석은 스펙트로미터 및 I.C.P 분석기로 하였고, SEM으로 미세조직을 관찰하였다. K₂Cr₂O₇ 2 g, H₂SO₄ 8 ml, H₂O 100 ml, NaCl 4 ml로 혼합한 부식액을 사용하여 연마면을 약 10초간 부식 후 사용하였다. 상에 대한 분석은 EDS로 하였다. 연마면에서, 비커스 경도기(Vickers Hardness Tester)는 하중 5 kgf, 전체 하

서울대학교 금속공학과(School of Materials Science and Eng., Seoul National University)

*생산기술연구원(Korea Academy Institute of Technology)

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

| Element No. | Cu | Zn | Al | Ni | Si | Fe | Cr | Mn | Zinc Equivalence |
|-------------|-------|-------|------|------|------|------|------|------|------------------|
| BA-1 | 60.68 | 35.45 | 3.87 | - | - | - | - | - | 49.16 |
| BA-2 | 61.52 | 34.39 | 3.77 | - | - | - | - | 0.32 | 48.10 |
| BA-3 | 61.43 | 29.48 | 3.89 | 4.26 | 0.93 | - | - | - | 47.98 |
| BA-4 | 60.64 | 29.58 | 3.82 | 3.9 | 0.97 | 0.88 | 0.29 | - | 48.94 |
| BA-5 | 62.08 | 28.36 | 2.08 | 4.15 | 0.8 | 0.83 | 0.5 | 0.2 | 42.38 |

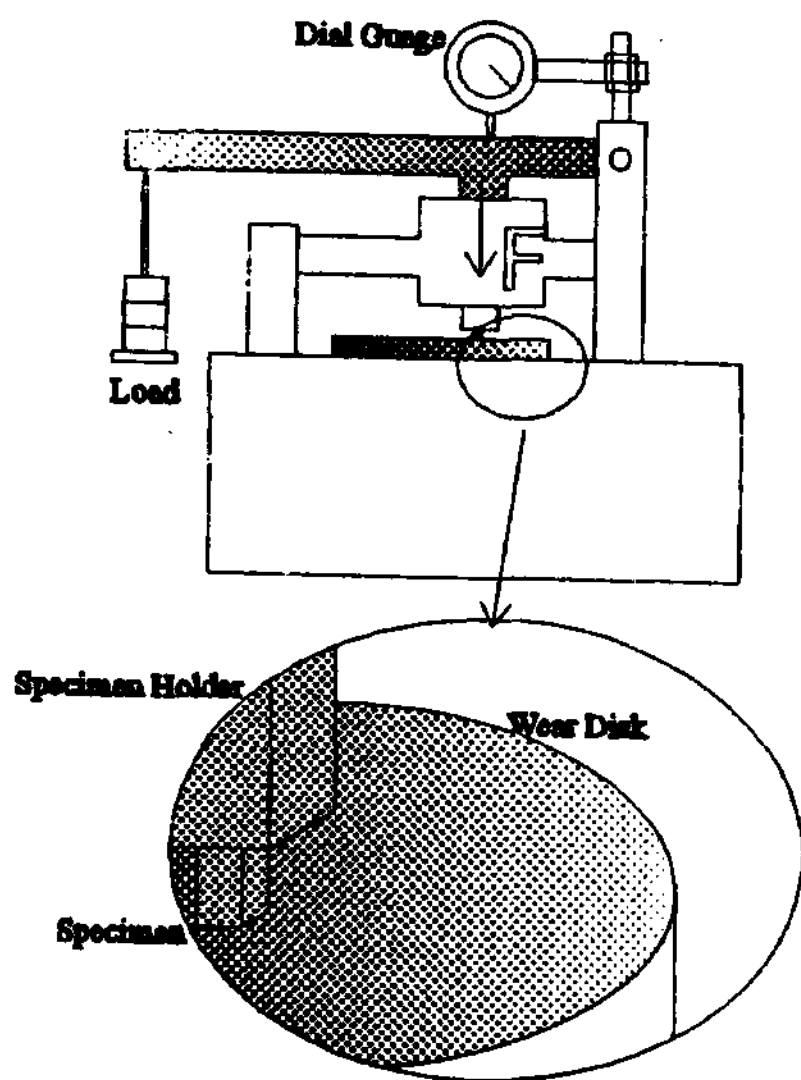


Fig. 1. Pin-on-disc type wear machine.

중 시간 15초로 경도값을 측정하였다. 각 시편 당 7회 측정하여 최대값과 최소값을 제외한 나머지 5회분의 산술평균값을 취하였다.

Fig. 1는 마모실험에 사용한 판상봉(Pin-on-Disc)형 마모시험기의 개략도이다. 상대마모재로는 SCM-21(HR_c60)강을, 윤활유로는 SAE #90 터빈유를 각각 썼다. 상대마모재와 윤활유의 선택은 자동차용 고력 황동 내마모 부품의 마모조건에 접근하기 위한 것이다. 실제로, 상대마모재로 쓴 SCM-21(HR_c60)강은 자동차용 내마모 소재로 쓰고 있는 고력황동과 접촉하는 부품의 재료이고, 윤활유로 이용된 SAE #90 터빈유도 자동차용 기어 윤활유이다. 이러한 조건에서, 하중과 윤활유 공급량을 Table 2와 같이 조절하며 측정하였다.

3. 실험 결과

Table 2. Wear conditions

| | |
|------------------|--------------------|
| Wear Disc | SCM-21 |
| Lubricant | SAE#90 |
| Lubrication | 0.30 cc/min, dry |
| Wear Area | 16 mm ² |
| Load on Specimen | 10, 68.5, 116 kgf |
| Wear Disc Speed | 150 rpm |
| Wear Distance | 5 km |

3.1 고력황동의 조직 분석

Photo 1은 주조한 시편의 조직 사진이다. 모든 시편은 아연당량을 49% 수준으로 유지하여 β상 기지의 합금이 되도록 하였다. 6:4황동을 기본 모델로 하여 Al과 소량의 Mn을 첨가한 BA-2 (Photo 1-(a))는 β상 기지 위에 각진 형태의 석출상(A)을 관찰할 수 있었다. 이 석출상은 Mn을 첨가한 BA-5 에서도 관찰할 수 있었다. BA-3(Photo 1-(b))은 Cu, Zn, Al 합금에 Ni, Si를 첨가한 것으로, 밝은 구형의 작은 석출물(B)이 골고루 분포되어 있는 것을 관찰할 수 있었다. Photo 2는 이러한 석출물의 Ni에 대한 EDS line scanning 결과이다. 석출물이 존재하는 부분에 Ni의 함량이 높게 나타났고, Ni이 함유된 모든 합금(BA-3, BA-4, BA-5)에서 관찰할 수 있었다. 이를 XRD로 분석한 결과 NiO로 확인되었다. BA-4(Photo 1-(c))는 BA-3 합금에 Fe, Cr을 첨가한 것으로, β상 기지와 NiO 외에 기지 전반에 골고루 분포되어 있는 조직상(C)을 관찰할 수 있었다. 이 석출물의 Fe, Cr에 대한 EPMA dot mapping 결과(Photo 3)와 XRD 분석결과 FeCr₂O₄인 것으로 판단할 수 있었다. BA-5(Photo.1-(d))는 BA-4 합금에 소량의 Mn을 첨가한 합금이다. 이 합금 역시 β상을 기지로 하고, Mn계 석출물, FeCr₂O₄, NiO 외에 길고 가는 형태의 침상 조직(D)을 관찰할 수 있었다. Photo 4는 이 석출물의 Ni, Si에 대한

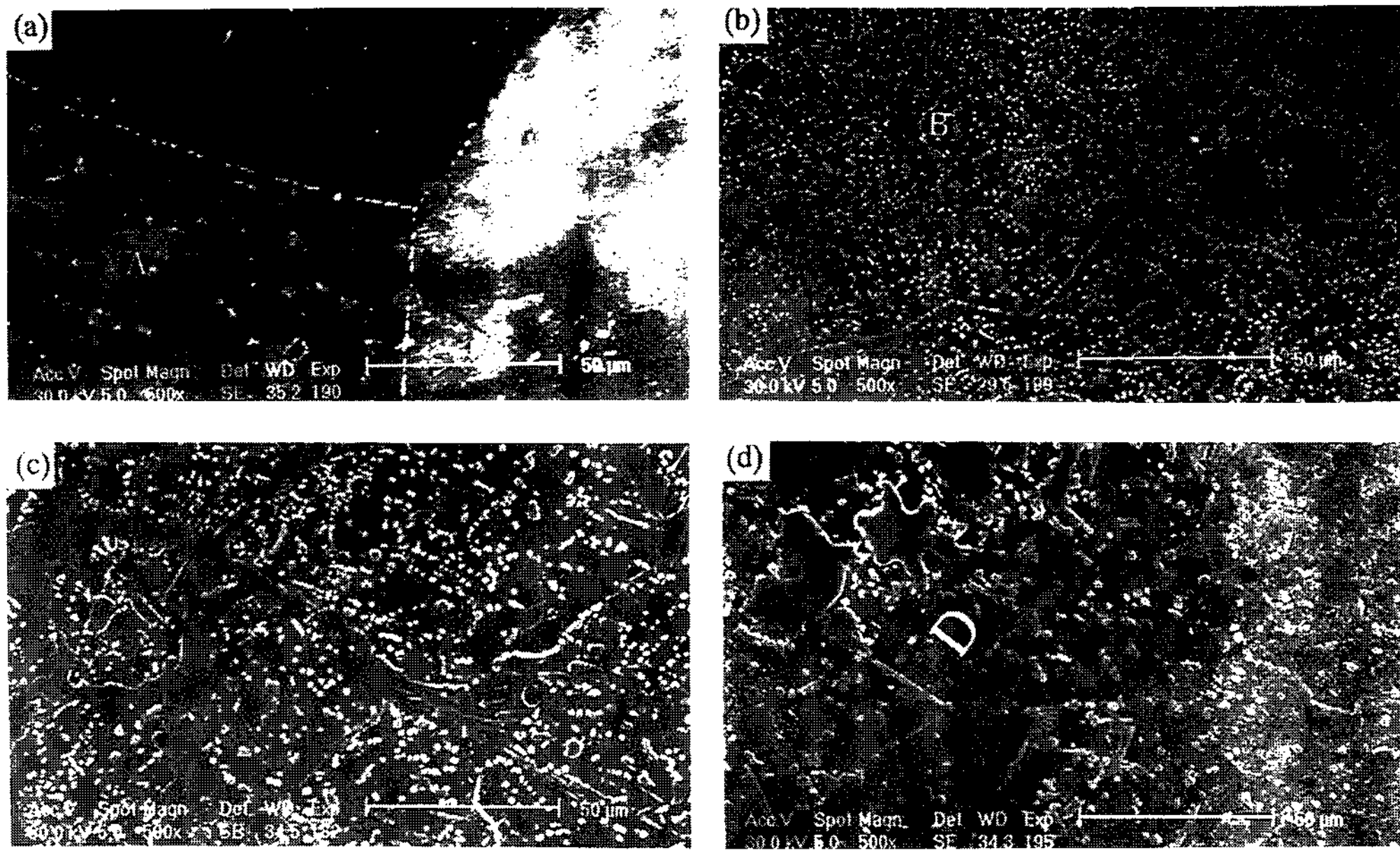


Photo 1. Microstructures of the specimens. (a) BA-2 (b) BA-3 (c) BA-4 (d) BA-5.

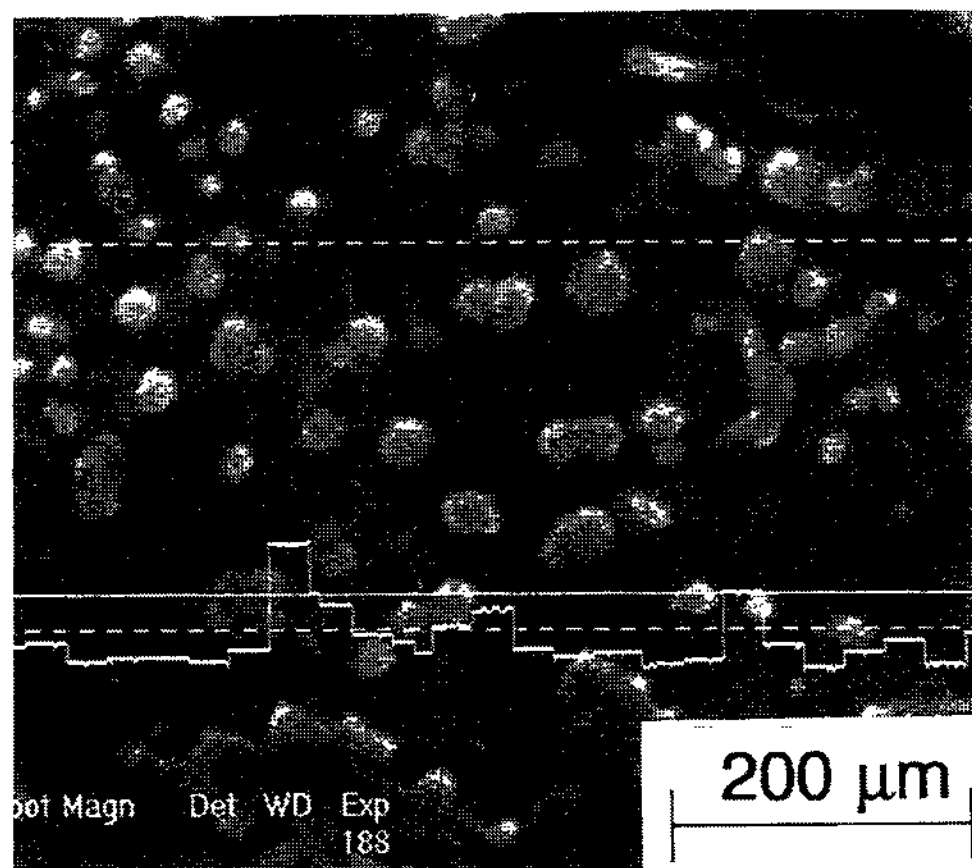


Photo 2. Results of EPMA analysis for BA-3.

EPMA dot mapping 결과로서, 이 석출물은 금속간화합물인 Mn_5Si_3 으로 판단된다[4]. 각 상의 분율을 Image Analyzer로 분석하였고, 그 결과를 Table 3에 나타내었다.

3.2 경도 및 마모실험 결과

Fig. 3은 하중 112 kgf, 마모속도 14.7 cm/sec에서 총 마모거리 5 km에 대한 각 시편의 마모량변화 곡선이다. 모든 시편에서, 마모거리 1000 m인 지점을 전후로

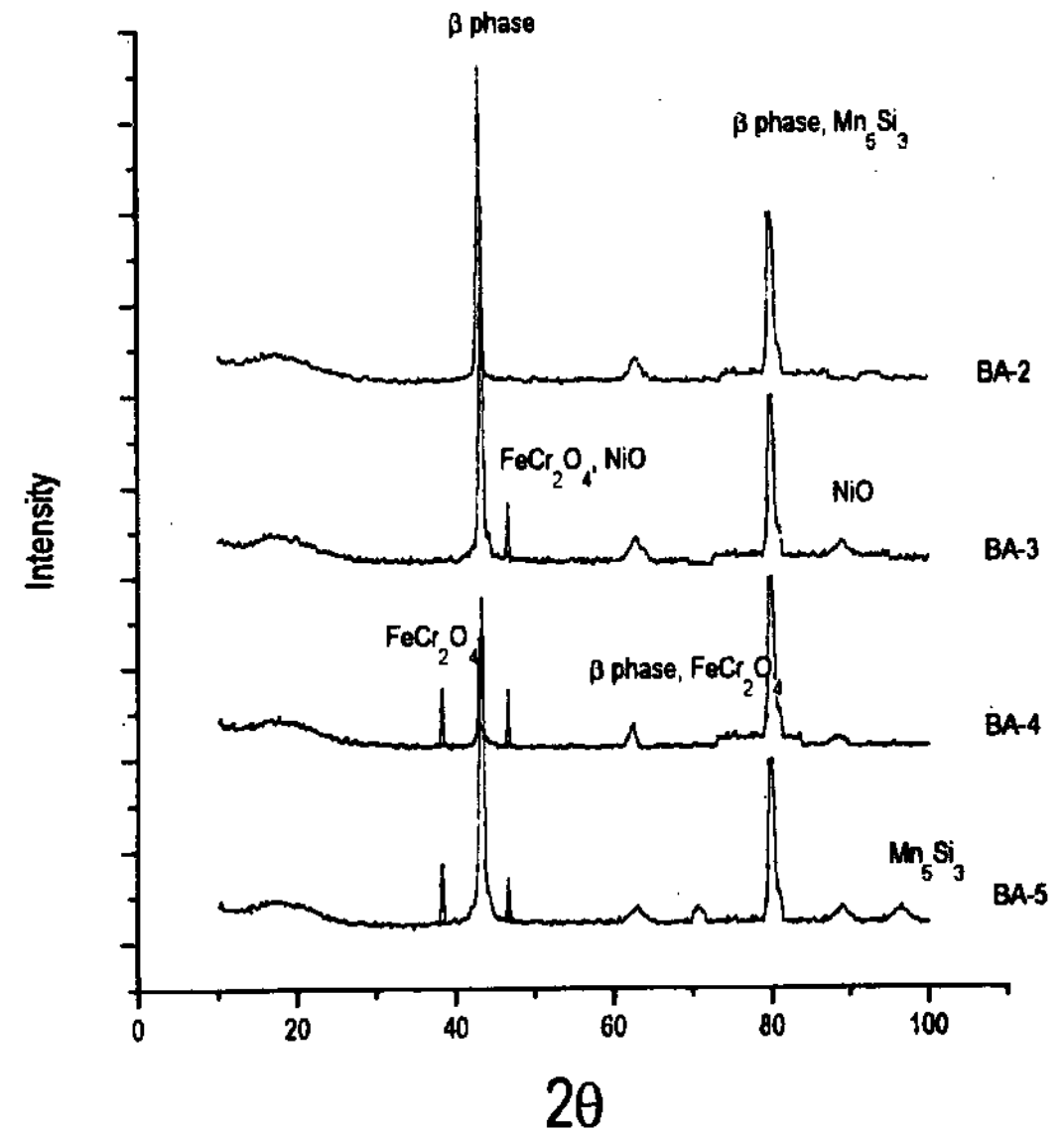


Fig. 2. XRD patterns of BA-5.

하여 곡선의변화가 생김을 관찰할 수 있다. 이는, 마모면의 미세한 돌기부가 닳아 없어져서 매끈한 면이 되는 거칠고 불균일한 초기마모단계에서 마찰면의 상태가 안정되는 정상마모단계로 이행하는 과정을 나타낸다. 또, 위와 같은 조건에서는, BA-1, BA-2, BA-3, BA-4, BA-5의 순서로 마모량이 감소하는 것인데 BA-

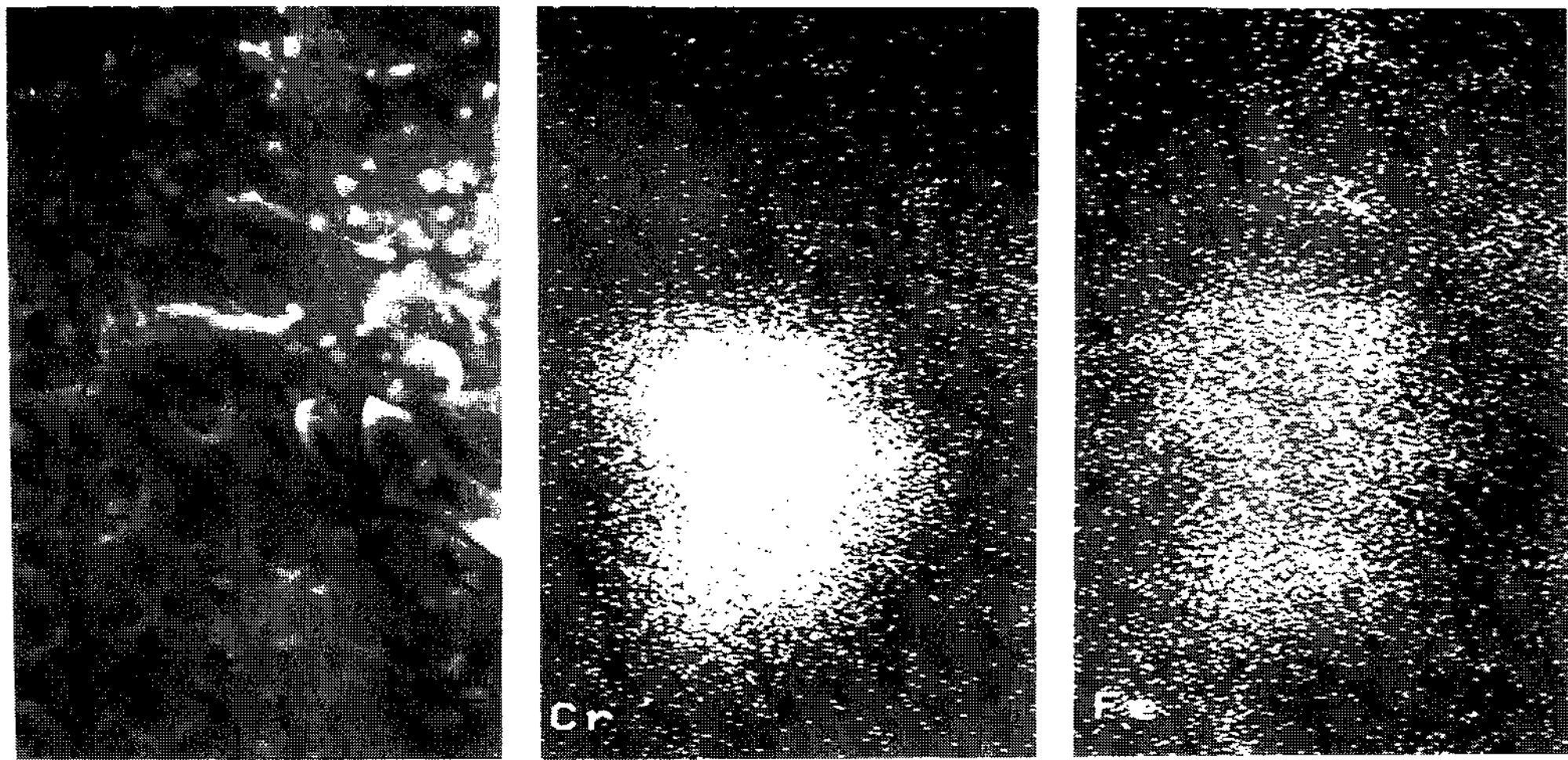


Photo 3. Results of EPMA analysis for BA-4.

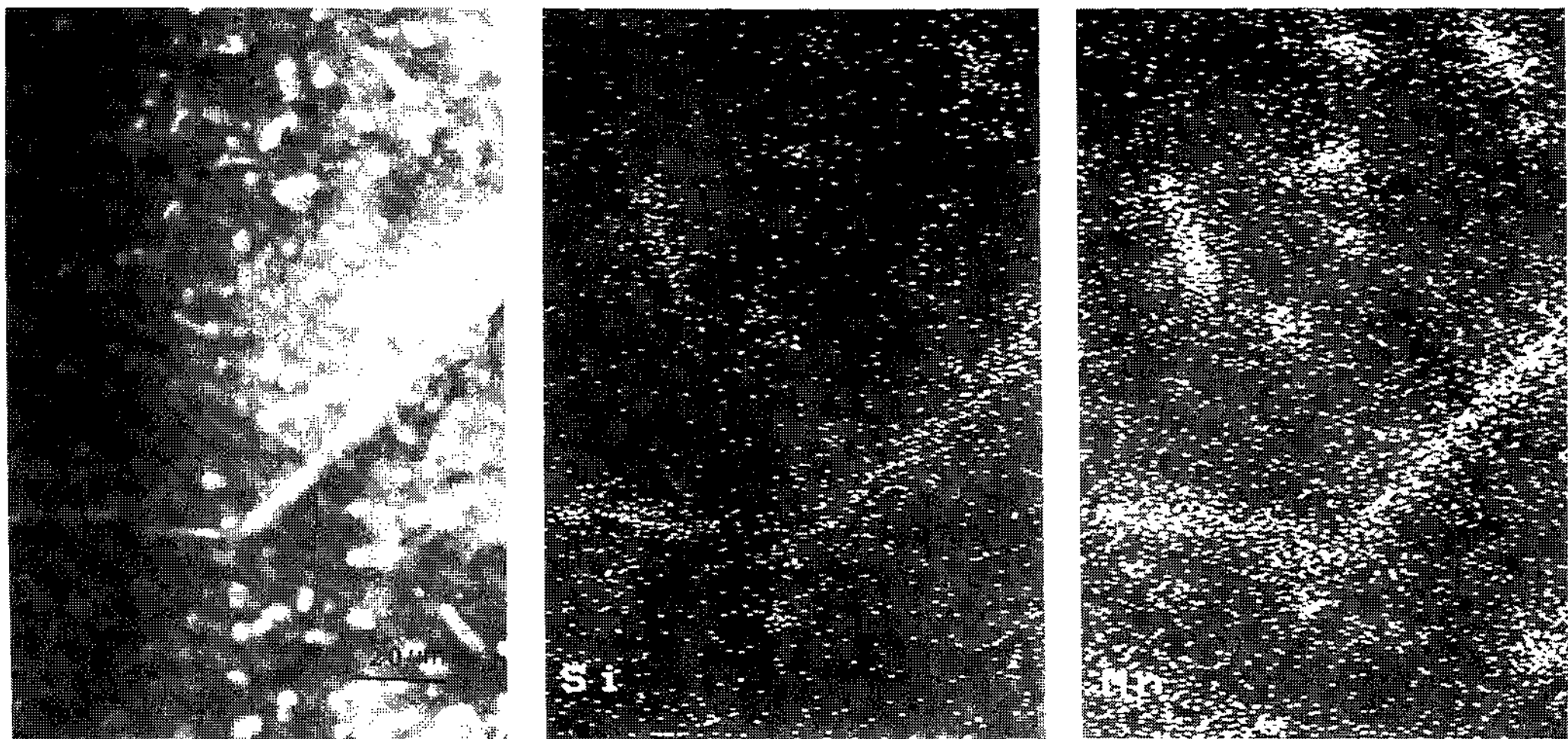


Photo 4. Results of EPMA analysis for BA-5.

Table 3. Phase Fraction (%)

| Specimen \ Phase | BA-1 | BA-2 | BA-3 | BA-4 | BA-5 |
|------------------|------|------|------|------|------|
| β | 100 | 98.6 | 87.5 | 84.5 | 80.7 |
| Mn계석출물 | - | 1.4 | - | - | 8.9 |
| NiO | - | - | 13.5 | 8.0 | 5.6 |
| $FeCr_2O_4$ | - | - | - | 7.5 | 4.3 |
| Mn_3Si_3 | - | - | - | - | 0.5 |

1에서 BA-4로 갈수록 마모량이 크게 감소하는 반면, BA-4와 BA-5의 마모량의 차이는 크지 않음을 보여준

다. 이 원인을 고찰하기 위해 β 상분율에 따른 경도값과 마모량의 변화를 알아보았다. Fig. 4는 비커스 경도값과 하중 112 kgf, 마모속도 14.7 cm/sec, 총 마모거리 5 km에서의 마모량과 β 상 분율의 관계를 보여준다. 이 그림에서, 경도값과 마모량은 β 상 분율에 크게 의존함을 알 수 있다. 즉, 경도값과 내마모성은 β 상 분율에 반비례하기 때문에, BA-1에서 BA-4까지는 β 상 분율의 차이가 커서 마모량의 차이가 크게 나타났고, BA-4와 BA-5는 β 상 분율의 차이가 작아서 비슷한 마모량을 나타냈다고 볼 수 있다.

Fig. 5는 마모거리 5 km, 하중이 각각 68.5 kgf, 112

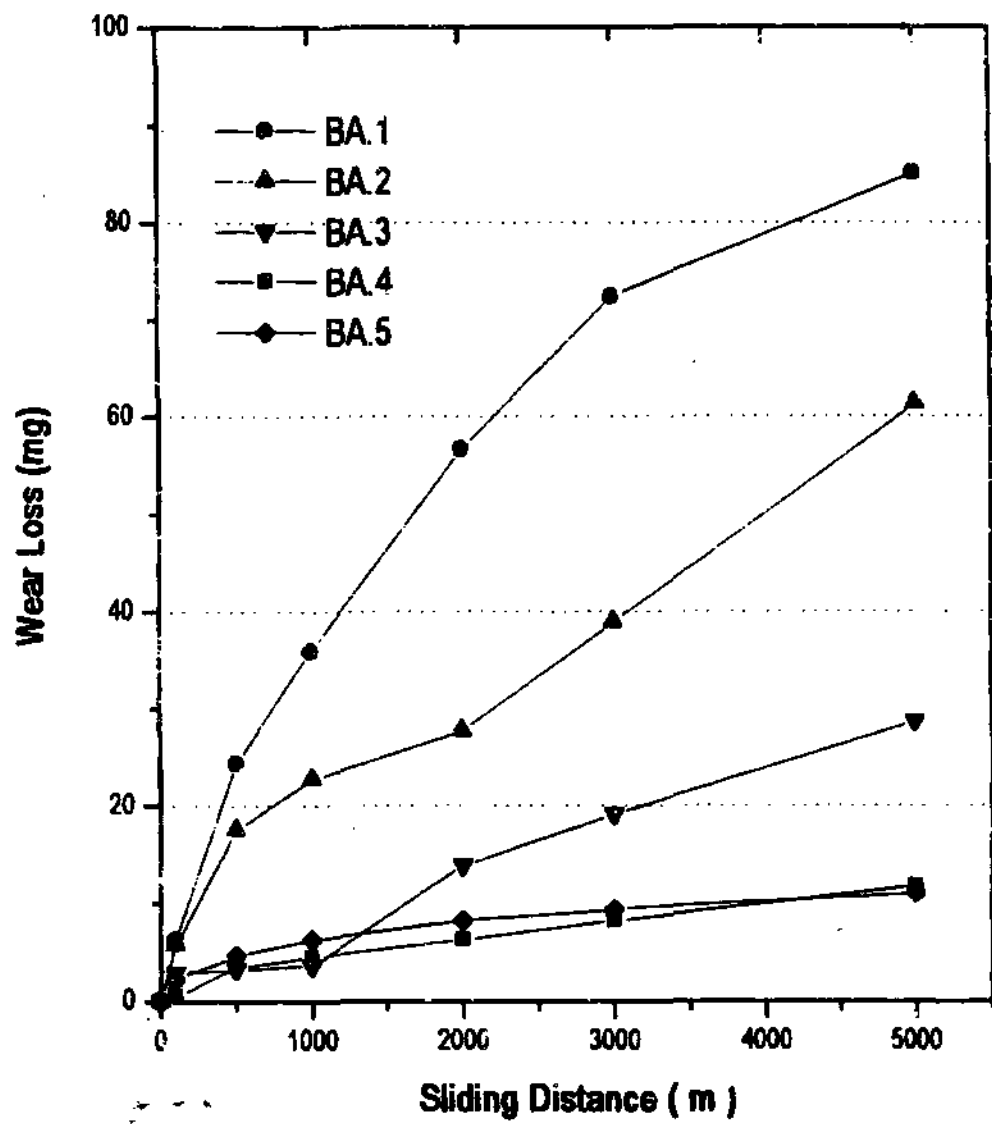


Fig. 3. Variation of wear loss with sliding distance (Load: 112 kgf).

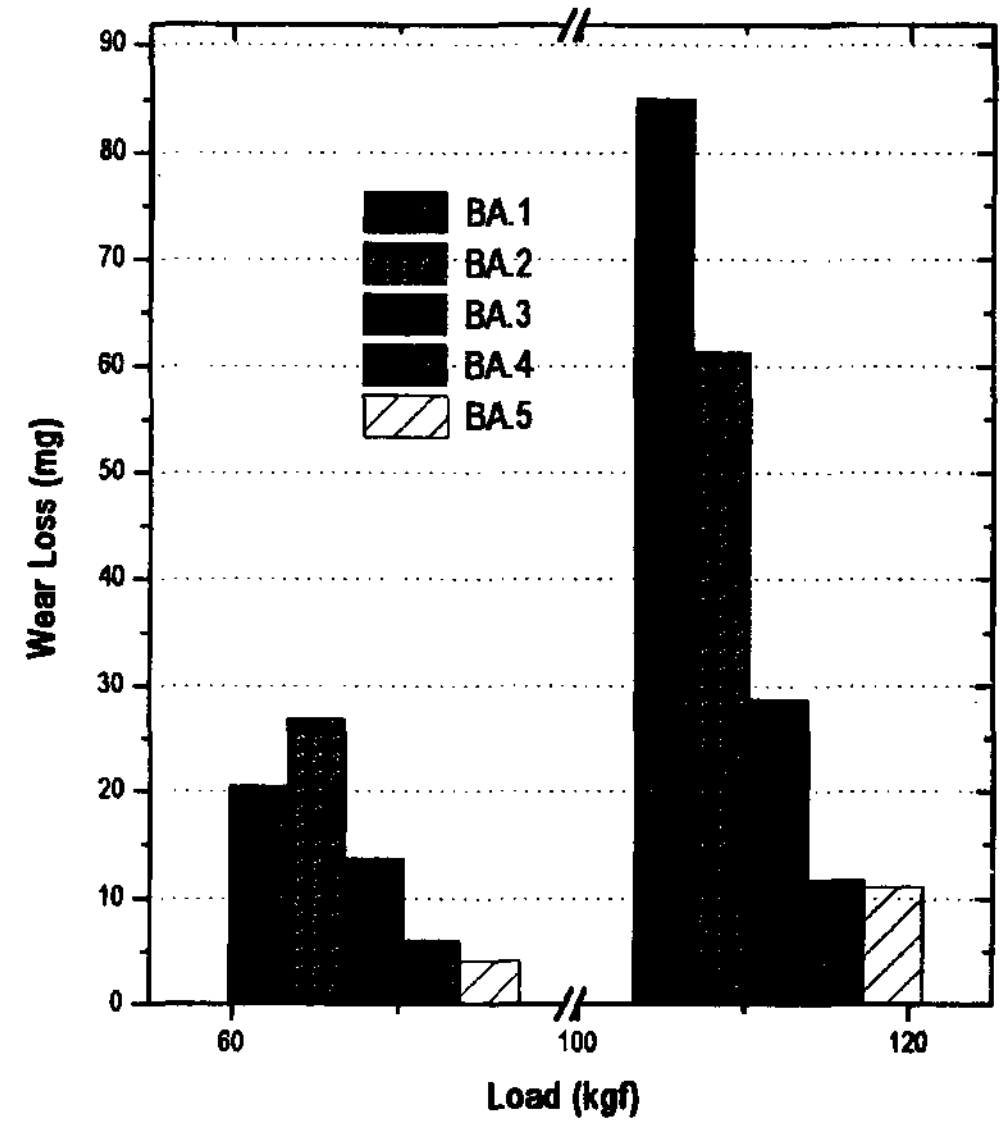


Fig. 5. The wear loss for different load.

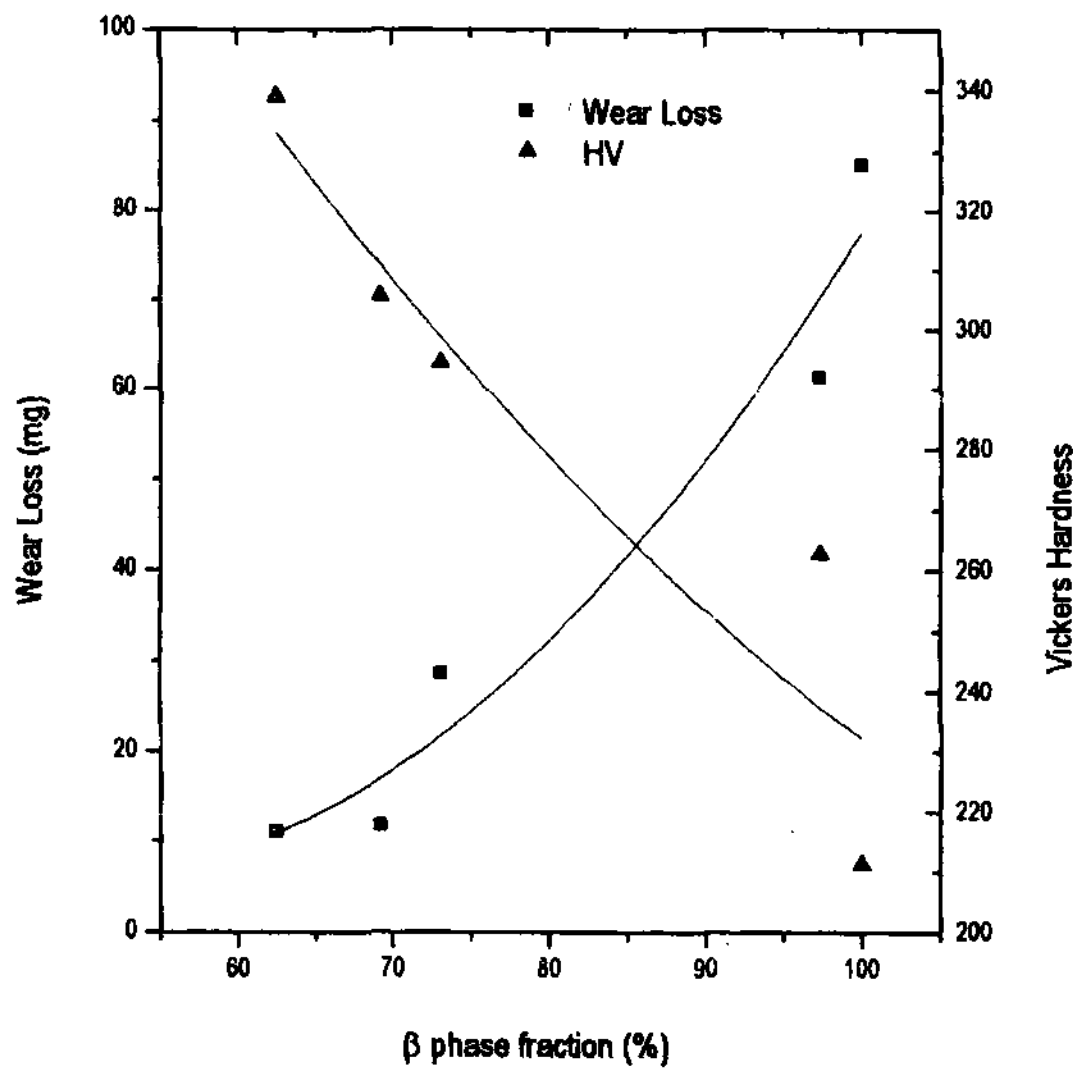


Fig. 4. Variation of wear loss and Hv with beta phase.

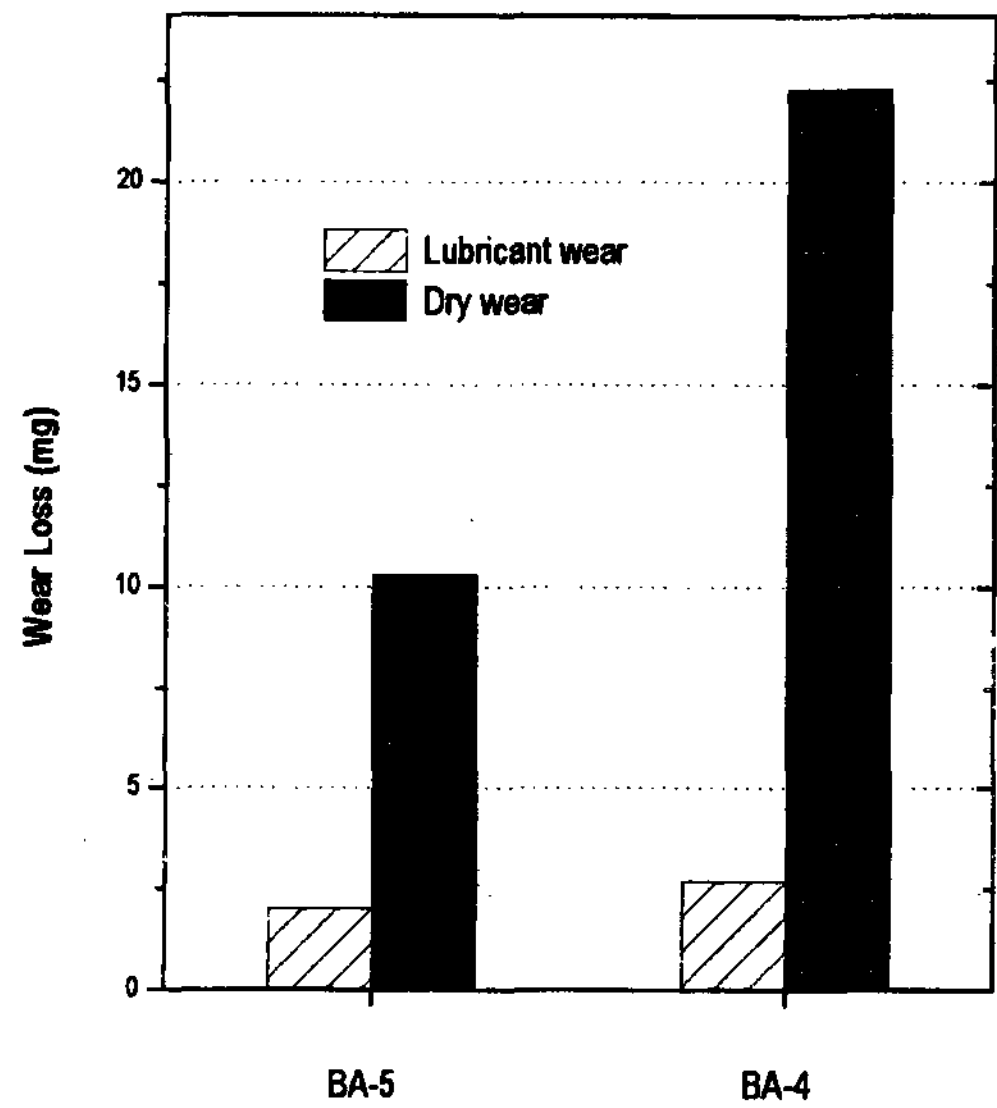


Fig. 6. The wear loss with and without lubricant.

kgf에서의 마모량의 변화이다. BA-1, BA-2는 하중에 따라 마모량 40 mg 이상의 큰 차이를 보이는 반면, BA-3, BA-4, BA-5에서는 10 mg 안팎의 작은 차이를 보인다. 이것은 낮은 하중 조건보다는 높은 하중 조건에서, 기지에 비하여 강한 석출상, 또는 금속간화합물이 있는 재료의 내마모 특성이 잘 나타남을 보여준다. 하중은 돌기의 연삭 정도를 지배하는 중요한 변수인데, 높은 하중에서는 경도가 낮은 재료일수록 연삭 되

기가 쉽기 때문이다. 하중에 따른 마모량의 차이가 크면 severe wear, 작으면 mild wear로 구분할 수 있는데, 이렇게 마모량의 차이가 다른 것은 마모표면의 강도 때문인 것으로 판단된다. Fig. 6은 총마모거리 5 km, 하중 68.5 kgf에서 건식과 습식조건에 따른 마모량의 변화이다. 실험 결과 건식 및 습식 조건에 따라 마모량의 차이가 크게 나타났다. 또, 습식 마모의 경우 두 시편의 마모량의 차이가 매우 적었는데, 건식마모에

서는 10 mg 이상의 차이를 나타내었다. 이것 역시 severe wear와 mild wear의 차이로 보인다.

이상의 실험 결과를 종합하여, 5개의 시편 중 내마

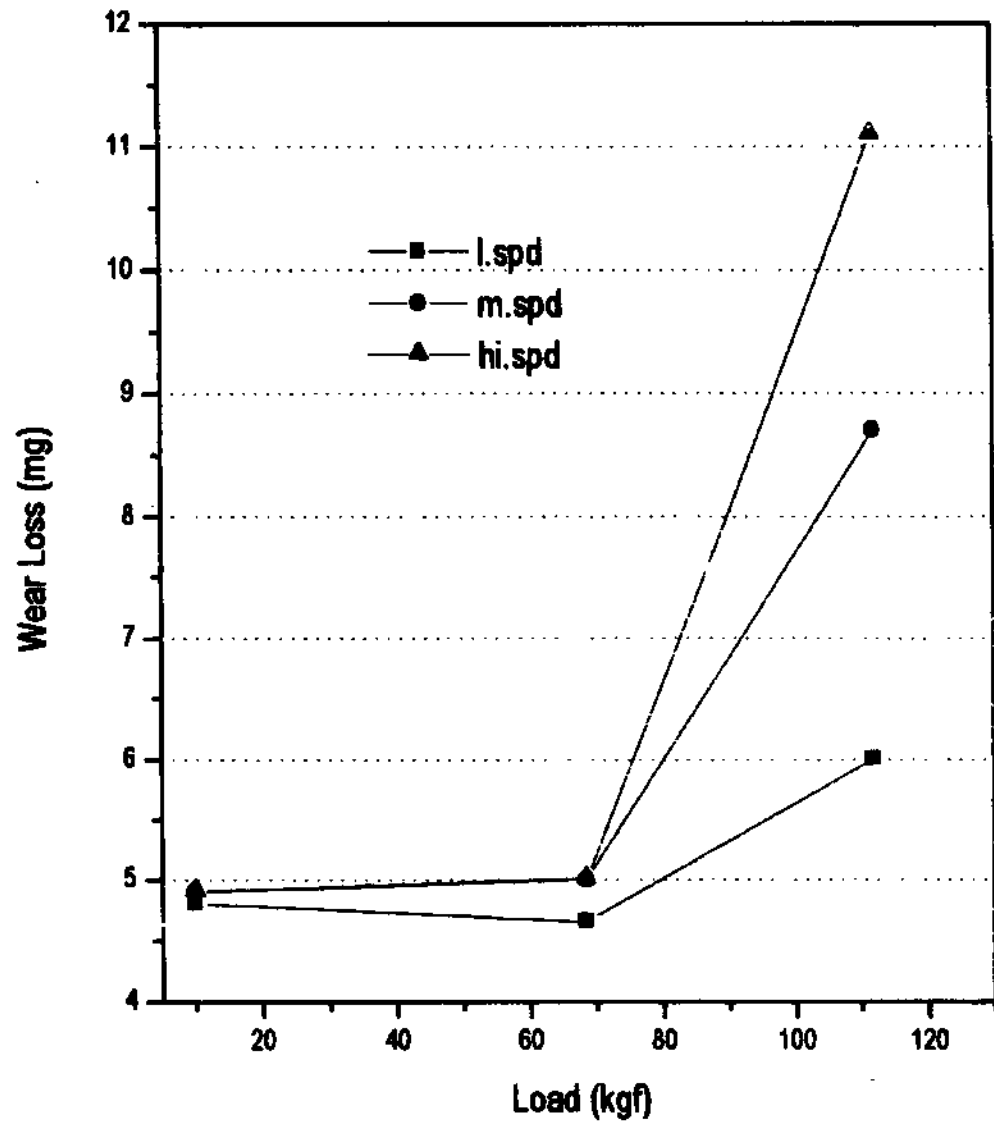


Fig. 7. Variation of the wear loss for various speeds for BA-5.

모성이 가장 뛰어난 합금인 BA-5에 대하여, 총마모거리 5 km에 대한 BA-5 합금의 하중과 마모 속도에 따른 마모량의 변화를 Fig. 7에 나타내었다. 낮은 하중 (10, 68.5 kgf)에서는 속도의 변화에 따른 마모량의 변화는 거의 없는 반면, 높은 하중(112 kgf)에서는 속도에 따른 마모량의 변화가 상당하였다. 즉, 112 kgf의 하중에서는 속도를 약 3배로 하였을 때, 마모량의 변화가 약 2배 가까이되었다.

3.3 마모면 관찰 결과

Photo 5는 총 마모거리 5 km, 하중 68.5 kgf 조건에서의 각 시편의 마모면을 SEM으로 관찰한 사진이다. 모든 시편의 마모면에서 선명한 홈(grooving)을 관찰할 수 있는데, 이것은 고력황동에서는 연삭마모가 주된 마모기구임을 보여준다. BA-2 시편의 마모면인 Photo 5-(a)에서는 마모면의 홈이 크고 많이 나타나 있고, (b), (c), (d)로 갈수록 홈의 폭과 간격이 좁고 그 양도 적어지는 것을 관찰할 수 있었다. 또, 홈 주위에 흩어져 있는 마모 부스러기의 양과 크기도 감소하고 있었다. 마모시험 결과 얻은 각 종 마모 부스러기의 사진을 Photo 6에 나타내었다. 마모 초기에 나타나는

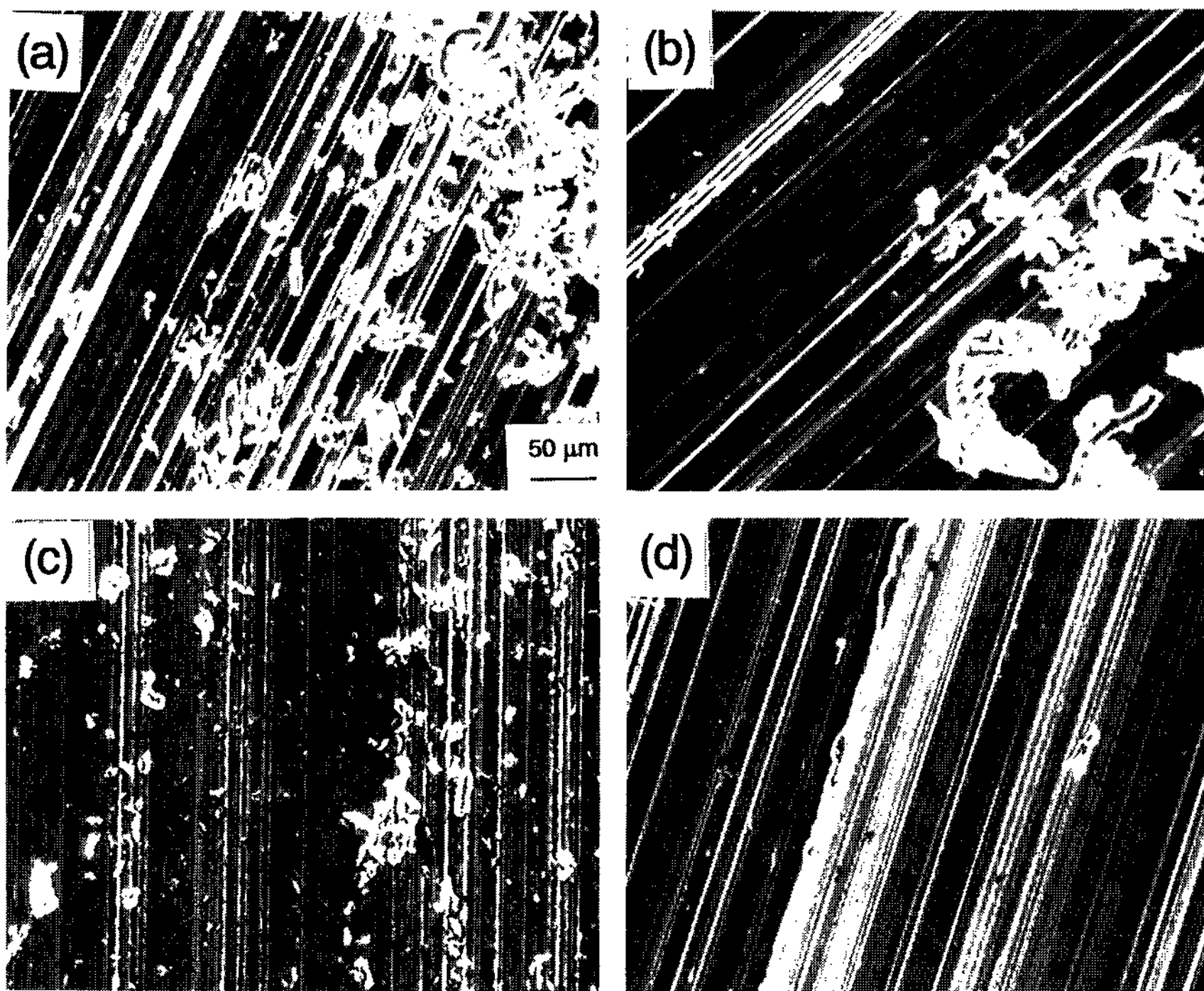


Photo 5. Worn surface of the specimens. (a) BA-2 (b) BA-3 (c) BA-4 (d) BA-5.

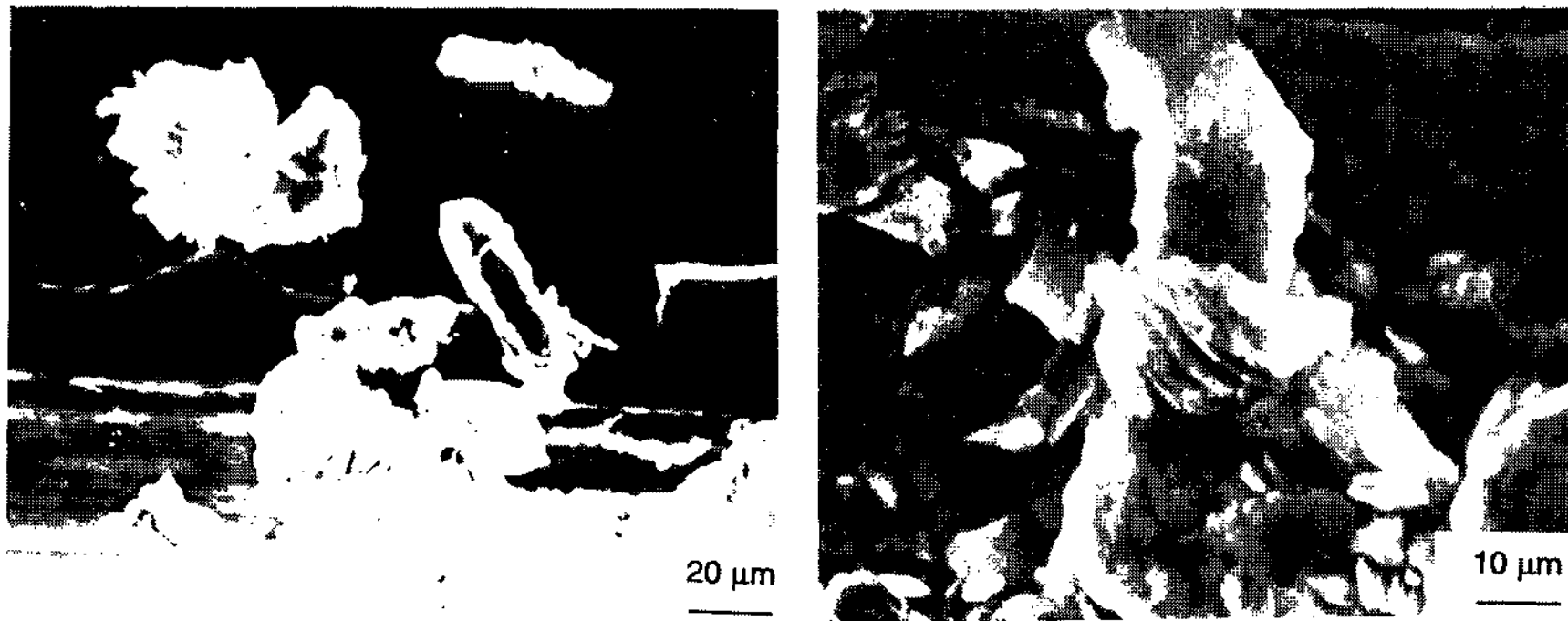


Photo 6. SEM views of the debris.

기계적 파괴에 의한 마모로 인한 마모 부스러기의 모습을 관찰할 수 있었다. 미세절단에 의한 마모 부스러기의 모습도 관찰할 수 있는데, 이것은 고력황동의 마모기구가 연삭마모임을 보여준다.

4. 고찰

4.1 내마모성

각 시편의 마모량과 각 상의 분율과의 관계는 두가지로 나누어 생각할 수 있다. 우선, Fig. 4에서 살펴본 바와 같이 기지인 β상의 분율과 마모량과의 관계를 살펴보았다. 多賀康訓은, 순수한 황동은 β상의 분율이 증가할수록 경도값은 감소하고, γ상의 분율이 증가하면 경도값도 증가하며, 경도값이 증가할수록 마모량은 감소한다고 보고하였다[5]. 따라서, 황동에서 β상 분율의 증가는 경도값을 감소시키고 마모량을 증가시키는데, Fig. 4를 통해 본 실험에서도 같은 결과를 얻었음을 알 수 있다. 즉, 고력황동도 경도값과 내마모성은 β상 분율에 반비례한다. 여기서, β상 분율이 기계적 성질에 나쁜 영향을 끼치는 까닭은 공기와 접촉하여 산화막을 형성하기 쉽기 때문인데, 이것 역시 多賀康訓이 확인한바와 일치한다[5].

다음으로, 각 시편에 나타난 모든 석출상과 마모량과의 관계를 살펴보았다. Kruschov에 의하면, 연삭마모의 경우, 각 석출상과 내마모성은 다음과 같은 관계를 가지고 있다고 발표하였다[6].

$$E = \frac{\rho \cdot A \cdot S}{W_M} = p_1 e_1 + p_2 e_2$$

(E: 시편의 내마모성, ρ: 밀도, A: 시편의 단면적, S: 총

Table 4. Wear resistance of specimens

| 시편 | BA-1 | BA-2 | BA-3 | BA-4 | BA-5 |
|---------|------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|
| e(내마모성) | 1.3 × 10 ⁻³ | 11.4 × 10 ⁻³ | 38.5 × 10 ⁻³ | 50.8 × 10 ⁻³ | 61.4 × 10 ⁻³ |

마모거리, W_M: 질량마모량, p₁, p₂: 각 상의 부피분율, e₁, e₂: 성분 1,2의 상대내마모성)

이 식을 이용하여 본 실험에서 사용한 각 시편의 내마모성을 계산한 결과를 Table 4에 나타내었고, 고력황동의 내마모성을 E_{BA}라고 하였을 때, 각 시편의 석출상 분율과 내마모성과의 관계를 계산하여 다음과 같은 식을 얻을 수 있다.

Table 3, Table 4 및 Krusove의 식을 이용하여 본 실험에서 사용한 각 시편에 석출된 상과 내마모성과의 관계를 계산해 보았고, 그 결과는 다음과 같다.

$$E_{BA} = 1.3 \times 10^{-3} p_1 + 2.2 \times 10^{-2} p_2 + 1.1 \times 10^{-2} p_3 + 3.3 \times 10^{-2} p_4 + 3.4 \times 10^{-1} p_5$$

(p₁, p₂, p₃, p₄, p₅: 각각 β상, NiO, Mn계 석출물, FeCr₂O₄, Mn₅Si₃의 분율)

계산 결과에 의하면, 기지인 β상의 상대내마모성이 가장 낮았다. 이것은 β상 분율이 클수록 마모량이 많다는 본 실험의 결과와 일치한다. 또, 각 석출상 중에서 금속간화합물인 Mn₅Si₃의 상대내마모성이 가장 크게 나타났다. 이것은 기계적 성질이 좋은 금속간화합물의 특성에 따른 것이다. 따라서, 기지에 금속간화합물을 분산시키면 내마모성이 좋은 합금을 기대할 수 있다. 이상을 종합하여, 고력황동에서 β상 분율을 줄이거나 금속간화합물과 같은 강한 석출상을 분산시키면 내마모성을 향상시킬 수 있음을 알 수 있다.

4.2 고력황동의 마모기구

앞서 Fig. 5와 Fig. 6을 통해서 고력황동에서 severe wear와 mild wear의 두가지 마모기구가 있음을 확인하였다. Eyre는 비윤활 조건의 마모실험을 통하여, 금속간화합물이 있는 재료는 severe wear에서 mild wear로 전화하여 내마모성이 향상된다는 결과를 발표하였다[7]. 본 실험에서도 금속간화합물이 있는 BA-5는 다른 시편과는 달리 하중의 변화에 따른 마모량의 변화가 크지 않았다. 즉, 금속간화합물이 있는 고력황동은 mild wear를 나타내며, 높은 하중이나 윤활유의 상황에 크게 영향을 받지 않는다. 마모실험에서 2원계 합금 고용체의 역할은 모합금에서와 비슷한 반면, 금속간화합물이나 중간상의 마모기구는 고용체나 모합금과는 무척 다르다. 즉, 금속간화합물이나 중간상은 첨가된 원소가 전이금속의 여부와는 상관없이 severe wear에서 mild wear로 전이시키고, 이 과정은, 마모의 초기 단계에서 발생하므로, 전체적으로 마모량을 감소시키는 역할을 한다[7]. Lancaster에 따르면, severe wear에서 mild wear로의 전환은 마모과정의 결과에 의한 새로운 금속 표면의 형성과 주위 환경과의 반응에 의한 표면 막 형성율이라는 두 가지 상반되는 동적 과정 사이의 경쟁의 결과라고 발표하였다[8]. 일반적인 상황에서는 산화막은 빨리 개선되지만, 그렇지 않은 경우에는, 접촉하는 표면이 매우 높은 마찰에 의해 포착되어 결과적으로 표면 손상을 가져온다. 따라서, 산화막 형성은 표면에 붙어 있는 산화막이 존재하는 한은 그러한 포착 작용(seizure effect)을 막거나 줄이고, 강한 산화막은 상대 표면이 미끄러지는 기초를 제공한다. 그러나, 응착마모가 주된 기구인 비윤활방식의 마모와는 달리, 윤활방식의 마모는 주로 연삭에 의해 이루어지므로, 이와 같이 생각할 수는 없다. 그보다는 금속간화합물의 존재 또는 강한 석출물의 존재는 재료 표면의 강도를 향상시키기 때문에 연삭되는 정도가 낮아져 내마모성이 향상되었다고 보는 것이 더 타당하다.

일반적으로 불균질 재료의 마모연구시, 내마모성은 상대하는 물질에 의해 마모되는 마모 부스러기의 양에 의해 평가할 수 있다고 보고하고 있다[9]. 황동의 경우, α상과 β상의 마모기구가 다른데, α상은 상대마모재를 연삭 하는 마모가 주된 마모 기구인데 반하여, β상은 상대마모재인 강을 연삭 하는 일이 거의 없어서 이와 같은 방식으로 마모를 생각하기는 어렵다

[10]. Photo 5를 통해 본 실험의 재료인 고력황동의 마모기구를 관찰할 수 있다. 시편 전체적으로, 흠과 마모 부스러기 외에 특별한 파손의 흔적이나 파단면 등을 관찰할 수 없는 것은 기지인 β상의 영향이다. 즉, 고력황동은 석출물에 의한 연삭이 주된 마모기구임을 알 수 있다.

5. 결 론

6:4 황동을 기초로 하여 Al, Ni, Si, Fe, Cr, Mn 등의 원소를 첨가하여 만든 고력황동의 미세조직과 경도 및 마모시험을 통하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 6:4황동에 Al, Ni, Si, Fe, Cr, Mn 등의 원소를 첨가한 결과 β상을 기지로 하여 Mn계 석출물, NiO, FeCr₂O₄, Mn₃Si₃ 금속간화합물이 형성되었다.
- 2) 고력황동에서 β상 분율은 경도값과 반비례하고, 마모량과는 비례한다.
- 3) 고력황동에서 β상 분율을 줄이거나 금속간화합물과 같은 강한 석출상을 분산시키면 내마모성을 향상시킬 수 있다.
- 4) 비윤활방식의 마모실험에서, 금속간화합물이 존재하는 고력황동은 severe wear에서 mild wear로 전이되어, 마모량이 크게 감소하였다.
- 5) 고력황동의 마모면 관찰 결과, 주된 마모기구는 연삭마모임을 확인하였고, 기계적 파괴에 의한 마모가 나타나는 것도 알 수 있었다.

후 기

본 연구는 생산기술연구소의 "고력황동소재의 마모 Mechanism에 관한 연구"에 의하여 수행된 연구로 이에 감사드립니다.

참 고 문 헌

- [1] 강춘식, 배정찬: 동합금계 고력 내마모성 소재 및 부품 국산화에 관한 연구, 통상산업부(1995) 7.
- [2] Owen W. Ellis: Copper and Copper Alloys, American Society for Metals (1948) 105.
- [3] 高野俊昭: 公開特許公報 昭59-20439 (1982) 187.
- [4] 態谷典文: 銅合金鑄物のエンジニアリング・データブック, 日本非鐵金屬鑄物協會(1987) 135.
- [5] 多賀康訓, 中島耕一: Cu-Zn合金の摩擦摩耗, 日本金屬學

會誌, vol. 40, No. 5 (1976) 488.

[6] T. S. Eyre: Wear Resistance of Metals, Treatise on Materials Science and Technology, vol. 13, (1979) 367.

[7] T. Sasada, S. Ban, S. Norose, T. Nakano: Wear of binary alloys - difference in wear mode between solid solutions and intermetallic compounds, Wear, 159(1992) 191.

[8] F. T. Barwell: Theories of Wear and Their Significance for Engineering Practice, Treatise on Materials Science and Technology, vol. 13, (1979) 36.

[9] 場孝雄: 金屬の摩耗に關する最近の研究, 日本金屬學會會報, vol 2, No. 12 (1963) 691.

[10] Karl-heinz Zum Gahr: Microstructure and Wear of Materials, Elsevier(1987) 80.

발표논문 모집

★ 제63차 세계주조대회(63rd World Foundry Congress)

- 개최일시 및 장소: 1998. 9. 12~9.18/Budapest, Hungary
- 논문개요 제출
 - 기한: 97. 9. 15일
 - 분량: 5줄(97. 12. 15일까지 full text제출)
- 동 대회에 투고하는 논문은 한국주조공학회를 통하여 신청 가능함.

★ K. D. Millis World Symposium on Ductile Iron

- 개최일시 및 장소: 1998. 10. 20~22/Hilton Head Island, 미국
- 논문개요 제출
 - 기한: 97. 7. 31일
 - 분량: 제목, 소요시간 명시후 98. 1. 1일까지 full text제출
- 연락처: James N. Wood,

DIS Symposium Chairman
 Ductile Iron Society
 28900 Office Park, 28938 Lorain Road, Suite 202,
 North Olmsted, OH44070
 U.S.A.
 Tel.: 1-216-734-8040 Fax.: 1-216-734-8182
 E-mail; jhall@ductile.org, Internet; www.ductile.org

※ 작성요령 등 자세한 정보나 신청서 양식이 필요하신 회원은 학회 사무국으로 연락바랍니다.
 (Tel: 02-796-1346, Fax: 02-796-1348)