

TiB₂ 분말로 강화된 Cu-TiB₂ 복합재료의 내마모특성

이태우 · 최종운 · 강계명[†]
서울산업대학교 신소재공학과

The Characteristics of Wear Resistance of Cu-TiB₂ Composites Reinforced by TiB₂ Powders

Tae-Woo Lee, Jong-Un Choi and Kae-Myung Kang[†]

Department of Materials Science and Engineering, Seoul National University of Technology

(2005년 10월 24일 받음, 2005년 12월 1일 최종수정본 받음)

Abstract In this study, the effect of the content of TiB₂ on wear properties was investigated. Cu-TiB₂ composites have been fabricated by hot extrusion. Sliding wear tests were performed by a pin-on-disk type wear test machine under dry condition and loads varied with from 20N to 80N at sliding speed 3.5Hz. The test results showed that the wear losses and the friction coefficients decreased with increasing TiB₂ volume fraction and increasing the size of TiB₂ particle. Wear property of 10 μm, 5 vol% TiB₂ specimen was excellent all of the wear specimens. It is thought that the increase of plastic flow resistivity due to uniform distribution of 10 μm, 5 vol% TiB₂ wear specimen would improve wear property. The worn surface and wear debris were examined by optical microscope and scanning electron microscope.

Key words Cu-TiB₂ composites, wear debris, pin-on-disk type wear test, friction coefficient.

1. 서 론

전기접점재료는 relay, 초고압가스차단기, 전극재료, 자동차 등 전 산업분야에서 널리 이용되고 있다.^{1,2)} 또한 전기접점시 전기접점재료는 면접촉 보다는 점접촉의 형태로 접점이 이루어지고 있다. 이에 전류 부하시 접촉점에 집중되는 고전류밀도에 기인한 고접촉저항이 발생하여 전기접점재료가 변색 또는 용착 될 수 있으며, S/W의 on-off 시 3000°C 고온의 아크 발생으로 접점의 일부가 소모되어 그 수명이 단축되게 된다. 또한 접점의 반복동작은 국부적인 피로마모현상으로 미립자의 이탈이 발생하게 되고 표면거칠기 또는 재료의 체적이 줄어 성능저하 및 소음, 진동 등의 문제점이 발생하게 된다.^{3,4)}

그러므로 전기접점재료는 전기적, 열적, 기계적, 화학적 성질을 충족시켜야 함은 물론이거니와, 접촉저항이 낮고, 열 및 전기 전도도가 높고 내 Arc성과 내마모성 등이 우수한 특성을 가져야 한다.^{5,6)} 더욱이 사용빈도의 증가와 고전류, 고부하 접점에 따라 접점재료의 내마모성 연구가 중요하게 되었다. 이에 따라 우수한 전기전도도와 열전도도를 갖는 Cu 기지 금속에 기계적 성질이 우수한 입자를 분산강화시킨 Cu계 분산강화형 복합재료의

내마모현상에 관한 연구가 요구되고 있다.⁷⁻⁹⁾

내마모성이 우수한 분산강화형 Cu계 복합재료의 분산상으로 Nb,¹⁰⁾ W,¹¹⁾ Cr₂O₃,¹²⁾ Fe₂O₃,¹³⁾ 등의 산화물의 복합재료에 관한 기계적, 전기적특성 연구가 있다. 또한 WC¹⁴⁾와 TiB₂^{15,16)}에 관한 연구는 WC와 TiB₂입자 고유특성에 기인한 전기접점복합재료의 전기적특성 평가와 내마모성에 관한 기초연구가 이루어지고 있다.

본 연구에서는 TiB₂의 입도와 부피분율에 따른 각각의 Cu-TiB₂ 분산강화형 복합재료를 열간압출법으로 제작하였다.¹⁷⁾ 이들 압출제로부터 각각의 마모시험편을 제작하여 마모거동에 미치는 TiB₂ 입자의 영향을 조사하고자 하였다. 먼저 제조된 Cu-TiB₂ 분산강화형 복합재료의 기계적, 전기적특성을 조사하였고, TiB₂의 입도와 부피변화에 따라 각각 제작된 마모시험편을 사용하여 건식마모분위 기하에서 pin-on-disk 형 마모시험하였다. 마모시험후, 각 마모시험편의 마찰계수와 마모감량의 변화를 마모표면과 마모탈락편 관찰로 TiB₂ 복합재료의 마모거동을 해석하고자 하였다.

2. 실험 방법

시험재는 400 Ton급 수평식 열간 압출기를 사용하여 제조하였으며, 압출된 시험제로 Cu-TiB₂ 분산강화형 마모

[†]E-Mail : littbird@snu.ac.kr

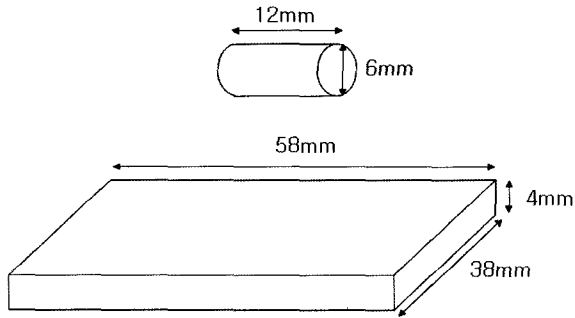


Fig. 1. Dimensions of plate type counterpart specimen and pin type wear test specimen for wear test.

시험편을 각각 제조하였다. 마모시험용 시험편은 Fig. 1 과 같은 형상으로서, Cu-TiB₂ 복합재료의 주시험편은 $\phi=6\text{ mm}$, $l=12\text{ mm}$ 의 핀형상으로 가공하였으며, 상대시험편으로는 Cu-7~9%Sn인칭동을 판형으로 가공하여 마모 시험에 사용하였다. 각각의 마모시험편과 마모시험조건은 Table 1에 나타내었듯이, TiB₂입도는 10 μm 와 20 μm 로 하였고, TiB₂부피분율은 1, 3, 5 vol%의 마모시험편을 마모시험하였다. 마모시험조건은 3.5 Hz의 일정속도하에서 접촉하중을 20N에서 80N까지 변화시켰고, 총마모거리는 40 m로 일정하게 유지하였다.

마모시험후, 각각의 시험편에 대한 마찰계수와 마모감량을 조사하였고, 마모조건에 따른 각 마모시험편의 마모표면과 마모탈락편을 광학현미경과 SEM으로 관찰·조사하였다. 또한 마모시험전 Cu기지내 TiB₂입자의 구조해석을 위한 기초연구로서 Cu-TiB₂계면을 TEM으로 관찰하였다.

3. 실험 결과

TiB₂ 부피분율과 입도에 따른 압출재의 전기전도도와 경도 변화를 Fig. 2에 나타내었다. Cu기지내의 TiB₂ 부피분율이 1, 3, 5vol%로 증가할수록 TiB₂의 입자크기가 10 μm 일 때 전기전도도는 83.3, 77.8, 74.5%IACS로 감소하였고, 20 μm 일 때의 전기전도도는 83.5, 79.5, 77% IACS이었다. Cu 분말로 제조된 압출재의 전기전도도가

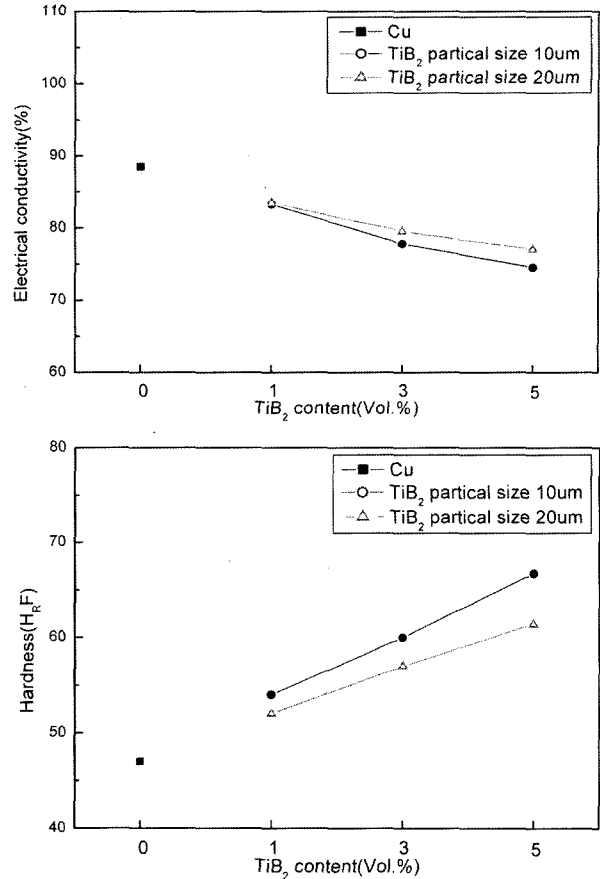


Fig. 2. Electrical conductivity and hardness of Cu-TiB₂ composites with TiB₂ contents.

약 88.5%IACS임을 감안한다면, 강화입자의 TiB₂가 13%IACS의 전기적 특성을 가진다고 해도 Cu기지내 자유전자의 이동을 방해하는 요소로 작용하기 때문에 TiB₂ 부피분율이 증가할수록 전기전도도는 감소하게 된다. TiB₂ 입자 크기가 20 μm 인 시험재가 10 μm 인 시험재 보다 전기전도도가 다소 높는데 이는 TiB₂의 평균입도가 커지면 기지와 의 계면 분율이 작아져 자유전자의 이동경로가 증가하게 되므로 전기전도도가 증가하는 것으로 판단된다.

경도값은 10 μm 입도에서 부피분율이 1, 3, 5 vol%에 따라 각각 54, 60, 66.8 HRF로 증가하는 것을 볼 수 있

Table 1. Cu-TiB₂ wear specimens for wear test and wear conditions.

Specimen	TiB ₂ particle size (μm)	TiB ₂ vol.% Fraction	Wear conditions	
No. 1		1vol.%	Wear test method	pin-on-disk
No. 2	10 μm	3vol.%	Counterpart material	Cu-7~9%Sn
No. 3		5vol.%	Sliding speed	3.5Hz
No. 4		1vol.%	Load range	20~80N
No. 5	20 μm	3vol.%	Total sliding distance	40m
No. 6		5vol.%		

었다. 또한 20 μm 의 입도의 경우에서도 10 μm 입도에서와 동일한 경향으로 1, 3, 5 vol.%로 부피분율이 증가함에 따라 52, 57, 61.4 HRF³ 경도값이 증가하는 것을 볼 수 있었다. 두 경도값의 경우 TiB₂ 입도가 작은 10 μm 의 경도값이 20 μm 입도의 경도값 보다 다소 큰 것으로 조사되었다. 이는 조직관찰에서 볼 수 있겠지만 10 μm 입도의 경우에서 미세하게 균일하게 분포된 입도의 영향으로 소성변형에 대한 저항성이 우수한 것으로 사료된다.¹⁷⁾

Fig. 3은 마모시험 중 plate와 핀 시험편 사이에서 나타나는 마찰계수와 마모량 변화를 나타내는 것으로, 마찰계수 변화는 마모시험기에 부착된 컴퓨터에 실시간 입력 및 저장한 다음 마모시험 종료 후 데이터를 출력하였고, 마모감량 변화는 시험 전·후의 질량차이를 시험편별로 비교 분석한 결과이다. 마찰계수와 마모감량은 접촉하중이 20~80N으로 변화함에 따라 TiB₂의 입자크기가 10 μm 일 때는 각각 0.151~0.455, 0.018~0.542 g의 값을 보였고, TiB₂의 입자크기가 20 μm 에서는 0.146~0.456, 0.015~0.552 g으로 조사되었다. 동일 하중에서는 TiB₂의

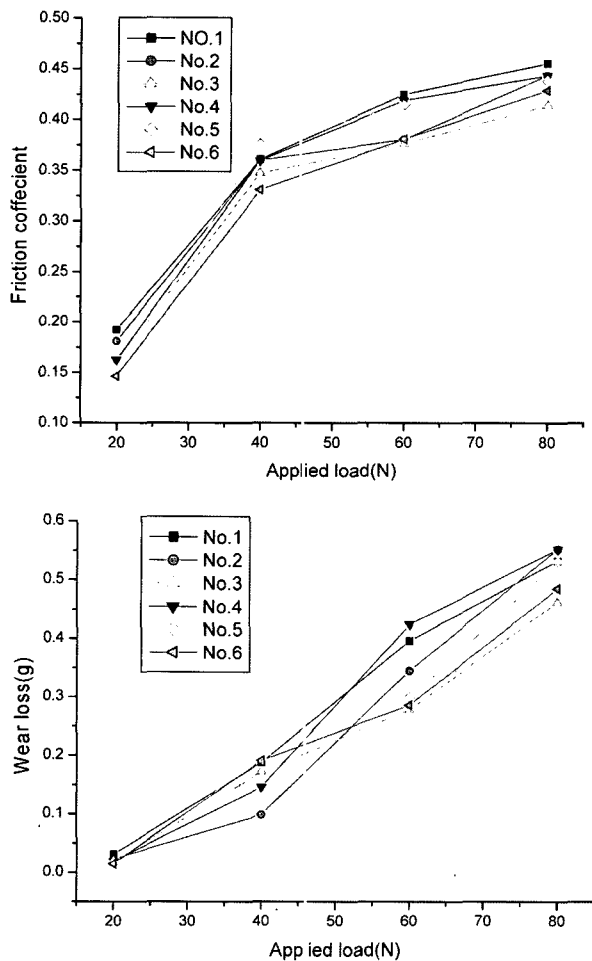


Fig. 3. Friction coefficients and wear loss of Cu-TiB₂ composites with the variation of applied loads.

부피분율이 증가할수록 마찰계수와 마모감량 모두 낮게 관찰되었지만, 입도 변화에 따라서는 큰 차이를 보이지 않았다. 특히 TiB₂가 10 μm , 5vol.%인 시험편이 가장 우수한 내마모특성을 갖는 것을 관찰할 수 있었다. 이는 Cu-TiB₂ 복합재료 내에서 기계적 성질이 우수한 TiB₂ 입자가 접촉하중을 지탱하여 Cu-TiB₂ 복합재료의 마모를 저하시키는 것으로 생각된다.

Fig. 4는 TiB₂ 입자의 부피분율과 입도 변화가 Cu-TiB₂ 복합재료의 마모거동에 미치는 영향을 알아보기 위하여 접촉하중에 따른 마모면을 SEM으로 관찰한 결과이다. 마모면의 표면층은 마모방향과 평행한 상태이다. 각각 마모시험편에서 20N의 저하중에서는 연삭마모와 부분적인 응착마모가 혼합된 형태가 관찰되었다.¹⁵⁾ 특히 TiB₂의 함량이 적을수록 마모표면에 굴곡이 심한 굽힘 자국이 관찰되었다. 그러나 80N의 고하중에서의 마모양상은 연삭마모보다는 응착마모 형태의 마모기구를 관찰할 수 있었다.¹⁸⁾ 이는 상대적으로 약한 Cu기지에서 먼저 마모가 진행되고 TiB₂입자에 마모하중이 집중되어서 입자가 탈락되거나 Cu기지와 분리가 일어나 마모탈락편으로 탈락되는 것으로 생각된다. 즉, 접촉하중 증가에 따라 마모감량이 증가한 현상을 잘 나타내고 있다.

Fig. 5는 OM을 이용하여 마모시험후 마모탈락편을 관찰한 사진이다. 마모탈락편은 일반적으로 flake type, roll and block type 등 3가지 형상을 보인다. 마모탈락편은 저하중에서 고하중으로 갈수록 마모탈락편의 크기가 증가하였다. 이는 저하중에서는 마모탈락편이 고체윤활제 역할을 하는 연삭마모거동을 보이지만, 고하중에서는 하중으로 인한 열로 인하여 마모탈락편이 고체윤활제 역할을 수행하지 못하고 서로 뒤엉켜 응착되는 응착마모 거동을 나타낸다. 즉, 마모탈락편은 subsurface 영역에서 소성유동현상에 기인한 가공경화의 영향으로 분리되는 것으로 생각된다.¹⁹⁾

Fig. 6은 10 μm , 5vol.% TiB₂입자로 강화된 Cu-TiB₂ 복합재료의 마모시험전 TEM계면 분석사진이다. 본 연구의 마모시험에서 가장 우수한 내마모성을 띤 Cu-TiB₂ 복합재료로서, 이에 대한 Cu기지와 TiB₂ 입자와의 계면을 관찰한 결과, (022), (111)면에서 Twin이 형성되는 것을 관찰할 수 있었다. 이는 Cu기지에 TiB₂입자의 결합과정에서 발생하는 내부응력의 영향으로 나타난 것으로 생각되었다. 특히 TiB₂와 Cu기지 간에 부정합구조를 갖는 것을 HRTEM image를 통해 관찰할 수 있었다.

4. 결 론

열간압출로 제조된 Cu-TiB₂ 복합재료의 내마모 특성에 미치는 TiB₂ 강화상의 영향을 연구한 결과, 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다. 마찰계수와 마모감량은 10 μm

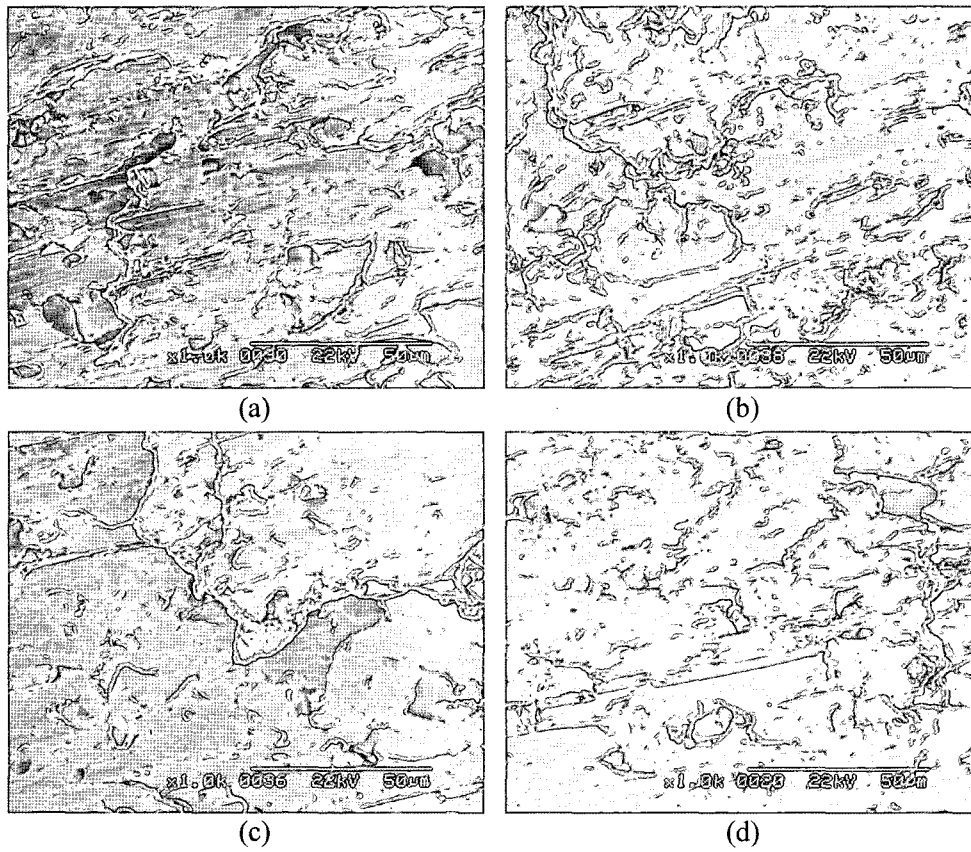


Fig. 4. SEM micrographs of worn surfaces at a sliding speed of 3.5Hz and the applied load of 60N($\times 1,000$) (a) Cu-1vol.%, 10 μm TiB₂ (b) Cu-5vol.%, 10 μm TiB₂ (c) Cu-1vol.%, 20 μm TiB₂ (d) Cu-5vol.%, 20 μm TiB₂

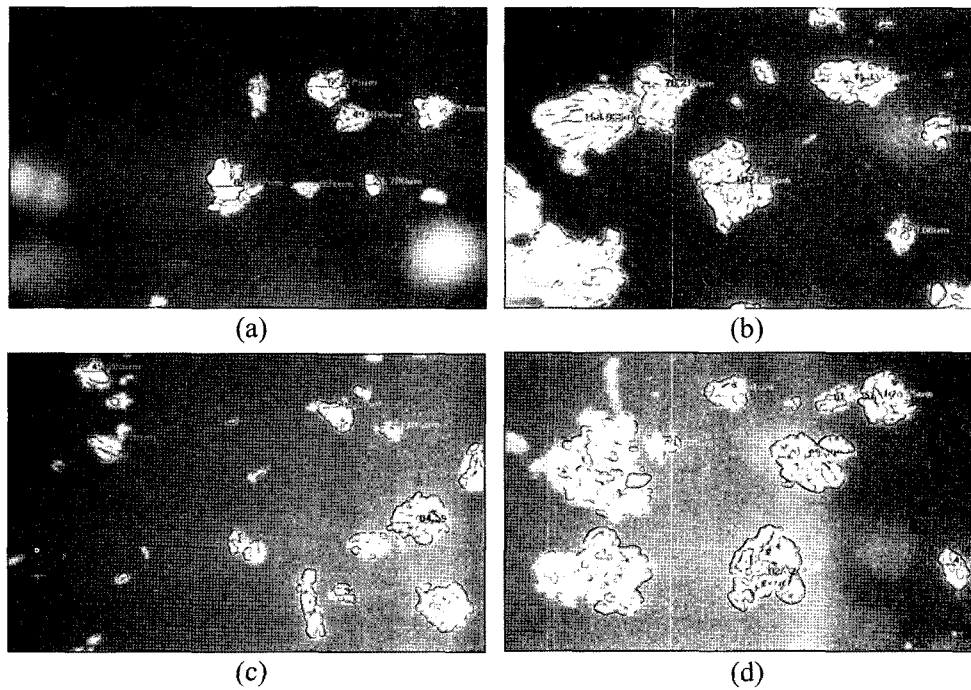


Fig. 5. OM micrographs of wear debris at a sliding speed of 3.5Hz($\times 500$) (a) 20N, Cu-5vol.%, 10 μm TiB₂ (b) 80N, Cu-5vol.%, 10 μm TiB₂ (c) 20N, Cu-5vol.%, 20 μm TiB₂ (d) 80N, Cu-5vol.%, 20 μm TiB₂.

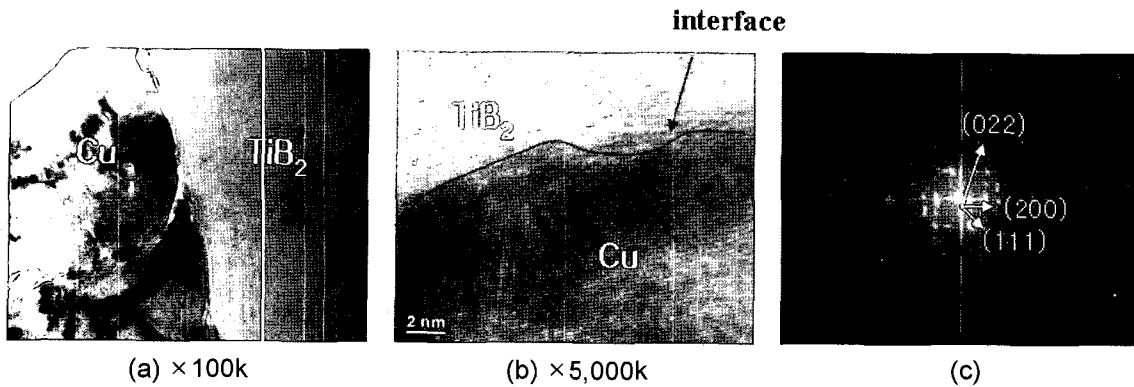


Fig. 6. TEM micrographs of interface Cu-5vol.%, 10 μm TiB₂ composite (a) BF image (TEM, 200 Kv) (b) Cu/TiB₂ Interface image (HRTEM, 300 Kv) (c) SADP-[011]axis.

TiB₂의 입자크기에서 부피분율의 변화에 따라 각각 0.151~0.455, 0.018~0.542 g의 값을 보였고, TiB₂의 입자크기가 20 μm 인 경우에는 0.146~0.456, 0.015~0.552 g으로 조사되었다. 이는 TiB₂의 함량이 높고, 입도가 작을수록 우수한 내마모특성을 보였고, 특히 TiB₂ 입자크기와 부피분율이 10 μm 와 5 vol.% 에서 가장 우수한 내마모특성을 보였다. 마모 탈락편은 TiB₂의 입도가 10 μm 와 20 μm 모두 마모하중 증가에 따라 마모탈락편의 입자크기가 증가하는 것으로 나타났다. 이는 마모표면층하, 소성 유동현상에 기인한 결과로 가공경화층의 깊이와 상관관계가 있는 것으로 사료된다.

참 고 문 헌

1. Fehim Findik, Huseyin Uzun, *Materials and design*, **24**, 489 (2003).
2. Y. J. Kwon, M. Kobashi, T. Choh and N. Kanetake, *Scripta Materialia*, **50**, 577, (2004).
3. J. S. Lee, N. J. Kim, J. Y. Jung, E. S. Lee and S. A. *Scripta Materialia*, **39**(8), 1063, (1998).
4. Q. Xu, X. Zhang, J. Han, X. He and V. L. Kvanin, *Materials letters*, **57**, 4439 (2003).
5. J. N. Kim, J. U. Choi and K. M. Kang. *Korea Journal of Materials Research*, **15**(1), 61 (2005).
6. M. Lopez, D. Corredor, C. Camurri, V. Vergara and J. Jimenez, *Material Characterization*, **55**, 252 (2005).
7. S. C. Tjong and K. C. Lau, *Composites Science and Technology*, **60**, 1141 (2000).
8. X. L. Kong, Y. B. Liu and L. J. Qiao, *Wear*, **256**, 747(2004)
9. J. P. Tu, W. Rong, S. Y. Guo and Y. Z. Yang, *Wear*, **255**, 832 (2003).
10. Y. Leprince-Wang, K. Han, Y. Huang and K. Yu-Zhang, *Materials Science and Engineering*, **A351**, 214 (2003).
11. T.-H. Kim and J.-S. Lee, *Journal of Korean Powder Metallurgy Institute*, **1**, 174 (1994).
12. J.-L. Liu, E.-D. Wang, Z.-Y. Liu, L.-X. Hu and W.-B. Fang, *Materials Science and Engineering*, **A382**, 301 (2004).
13. Z. Zhang, R. Sandstrom and L. Wang, *Journal of Materials Processing Technology*, **152**, 131 (2004).
14. D. Lou, J. Hellman, D. Luhulima, J. Liimatainen and V. K. Lindroos, *Materials Science and Engineering*, **A340**, 155 (2003).
15. K. M. Kang and J. T. Song, *Wear*, **140**, 119 (1990).
16. Z. Y. Ma and S. C. Tjong, *Materials Science and Engineering*, **A284**, 70 (2000).
17. K. M. Kang and J. U. Choi, *Korea Journal of Materials Research*, **14**(1), 74 (2004).
18. B. K. Prasad, *wear*, **257**, 110 (2004).
19. K. M. Kang, "A Metallurgical Study on the Wear Property and Weldability of High Carbon Cr-Ti Alloy Rail Steel", 12, Hanyang Univ., Thesis for Ph.D of Engineering, (1989).