



다이아몬드 마이크로 블레이드 제조에 있어 부피비의 관점에서 본 윤활제 첨가 효과

문종철, 김송희*

강원대학교 신소재공학과

Effect of Lubricant Addition in Terms of Volume Fraction on Fabrication of Cu/Sn Bonded Diamond Micro Blades

Jong-Chul Moon, Song-Hee Kim*

Dept. of Advanced Materials Engineering, Kangwon National Univ., Chuncheon 200-701, Korea

(Received January 21, 2010 ; revised February 25, 2010 ; accepted February 27, 2010)

Abstract

The effect of MoS₂ and graphite content on wear resistance and mechanical properties of Cu/Sn bonded diamond micro blades was comparatively investigated in terms of volume and weight fraction. For the evaluation of endurance and cutting performance, instantaneous electric power consumption and cumulative wear loss during cutting glass work piece at constant velocity were measured with the micro blades of the wide range of lubricant content. The energy consumption of blades for glass cutting decreased with the content of lubricants. Wear amount of blade in volume increased with the amount of lubricant addition. It was found to be relevant to the decrease in flexural strength and hardness with the amount of lubricants. With the same amount of lubricant content in volume fraction MoS₂ showed superiority in mechanical properties and cutting performance than graphite while graphite could result in stronger effect on lowering electric consumption during cutting work piece for the same weight percent fraction than MoS₂ because of lower density.

Keywords: Cutting performance, Diamond micro-blades, Graphite, Molybdenum disulfide, Lubricant content

1. 서 론

다이아몬드는 높은 경도와 압축강도로 인하여 CBN(cubic boron nitride)과 함께 비금속 초경재에 속하는 대표적인 공구재료로 사용되어 왔으며 매우 높은 표면조도제어가 요구되는 초정밀가공에 적합하다¹⁾. 특히 기계적 절삭 및 연마와 같은 활용은 각종 산업분야에서의 변혁을 극적으로 증대시켰다는 것에 있어 의심할 여지가 없다²⁾. 국내에 활성화된 산업들 중에 반도체 혹은 그 관련 기업들은 더욱 발달된 기술과 소자의 개발을 위해 노력하고 있으며, 반도체 칩의 크기가 점점 미세화 됨에 따라

아주 작은 영향이라도 회로에 큰 손상을 입힐 수 있다. 이러한 미세화와 직접 연관된 공정 중 하나가 초정밀 절단 공정인 'dicing' 공정이며, 반도체 장비의 고집적화, 고부가가치화에 따라 수반되는 공구의 다기능화, 고성능화는 반도체 가공분야에 있어 중요한 위치를 차지한다³⁾. 이러한 상황에서 선진국의 일류업체와 치열한 품질, 가격경쟁에 대한 대비는 다이아몬드공구 제조업체들이 향후 해결해야 할 과제이다. 선행연구⁴⁾에서 Cu와 Sn을 결합재로 사용하는 반도체 패키지 절삭용 다이아몬드 블레이드에 고체 윤활제로 사용되는 흑연과 MoS₂를 중량비로 첨가하여 블레이드 결합재에 윤활특성을 개선하였을 때 어떻게 경도 및 굽힘강도와 같은 기계적 특성이 개선되는지를 규명한 바 있다. 하지만

*Corresponding author. E-mail : songhee@kangwon.ac.kr

본 연구에서는 절삭성능과 마모거동에 미치는 영향을 윤활첨가제의 증량비와 부피분율을 비교하여 절삭성능과 내마모성을 분석함으로써 최적의 조성을 제시함을 목적으로 하였다.

2. 실험방법

2.1 시편제조

본 연구에서는 다이아몬드 블레이드를 동일한 온도와 압력으로 제작할 경우 수명 및 절삭효율이 첨가제의 부피분율에 의존하는 가능성을 보인 선행연구결과를⁴⁾ 바탕으로, Cu와 Sn 혼합 분말에 흑연과 MoS₂를 표 1의 조성으로 첨가하여 결합재 시편을 제작하였다. 제조 공정으로는 카본 몰드(mold)에 혼합된 분말을 충전 후 680°C까지의 가압소결 공정을 통해 시편을 제작하였으며, 가압소결시의 압력은 1,960~2,940 Pa로 하였다. 소결로 내의 분위기는 초기 진공 후, H₂ 가스가 5% 섞인 N₂ 혼합가스를 5 l/min.씩 소결 로에 공급하면서 가압 소결을 진행하였다. 소결이 완료된 시편은 500°C까지 로냉을 진행한 후 상온에 노출시켜 공냉을 실시하였다.

결합재의 경도 및 굽힘강도 등 기계적 특성의 측정을 위해 그림 1(a)와 같이 bar 형태의 시편들을 제작하였다. 절삭 성능 실험을 위한 다이아몬드 블레이드 시편으로는 표 1에 소개한 결합재에 지립의 크기가 40~60 μm의 다이아몬드를 conc. 50 (12.5 vol.%)으로 동일하게 첨가하여 제작하였으며, 그 형태는 그림 1(b)에 나타내었다. 절삭성능시험에 사용될 피절삭(work piece) 시편으로는 광학용으로 널리 사용되는 borosilicate glass(BK7)⁵⁾을 두께 1.9 mm, 가로와 세로가 각각 100 mm×100 mm으로 가공하여 사용하였다.

Table 1. Chemical composition of bond material
[unit: vol.%(wt.%)]

Bond	Cu	Sn	Graphite	MoS ₂
MA2	75.89(78)	24.11(22)	= MB0	= MV0
MB1	72.71(77.22)	23.10(21.78)	4.19(1)	-
MB2	69.73(76.44)	22.15(21.56)	8.12(2)	-
MB3	66.92(75.66)	21.27(21.34)	11.81(3)	-
MB4	64.29(74.88)	20.43(21.12)	15.28(4)	-
MB5	61.80(74.10)	19.64(20.90)	18.56(5)	-
MV1	72.71(76.08)	23.10(21.46)	-	4.19(2.46)
MV2	69.73(74.21)	22.15(20.93)	-	8.12(4.86)
MV3	66.92(72.40)	21.27(20.42)	-	11.81(7.18)
MV4	64.29(70.64)	20.43(19.93)	-	15.28(9.43)
MV5	61.80(68.93)	19.64(19.44)	-	18.56(11.63)

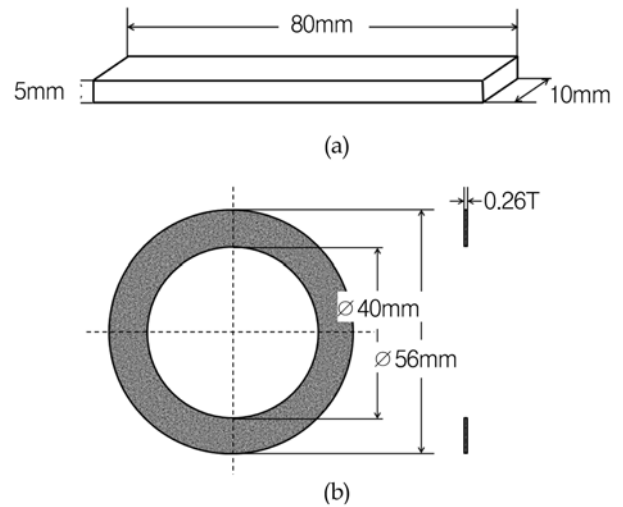


Fig. 1. Geometries of specimen for mechanical tests (a) and Micro-blade for dicing test (b).

2.2 특성평가

마이크로 블레이드용 결합재에 대한 기계적 특성을 평가하기 위해 표 1에서의 조성처럼 윤활제의 함량에 차등을 두어 시편을 제작, 경도와 굽힘강도를 측정하였다. 이때 경도의 측정을 위해서는 MATSUZAWA사의 VMT-7S digital vickers hardness tester를 사용하였으며, 굽힘강도 측정에는 ASTM의 D-790 규격을 참조하여 MTS사의 다이내믹 만능시험기(MTS 810 Model)를 이용하였다.

블레이드 시편의 절삭 성능을 평가하기 위해 ADM-6S Micro Blade Dicing Tester(Okamoto)에 CW-120 Clamp-on Power Meter를 장착, 유리 시편 절삭 시 소모되는 전력을 측정하였다. 실험은 블레이드의 회전 속도를 10,000 rpm, 이동 속도(feed)는 160 mm/min.로, 한 장의 다이아몬드 블레이드를 이용하여 24,795 mm³의 유리를 절삭하였다. 절삭이 완료된 블레이드 시편의 외경마모 및 무게감량은 프로젝션 이동식측정현미경과 정밀천칭을 이용하여 측정하였다.

굽힘강도 측정과 절삭성능실험 후 발생한 파단면 및 절삭 표면에 있어 Field Emission SEM(FE-SEM, HITACHI의 S4300)을 사용하여 관찰하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 윤활제 첨가에 따른 결합재의 기계적 특성 비교

그림 2는 Cu/Sn 소결체에 있어 흑연과 MoS₂의 첨가량 차이에 따른 경도(a)와 굽힘 강도(c)의 변화를 나타낸 그래프로, 윤활 첨가제 흑연과 MoS₂의 첨가량이 증가 할수록 경도와 굽힘 강도 같은 기계적 특성이 감소함을 관찰하였다. 또한 MoS₂를 첨

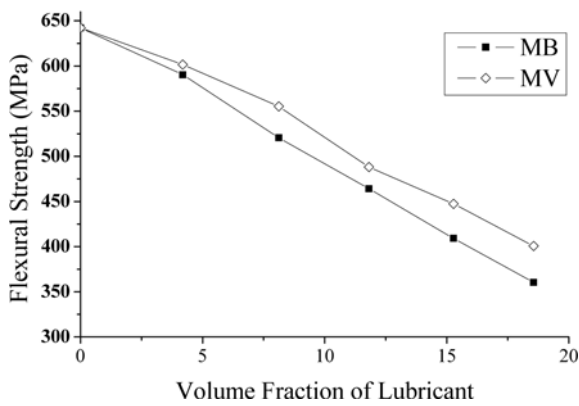
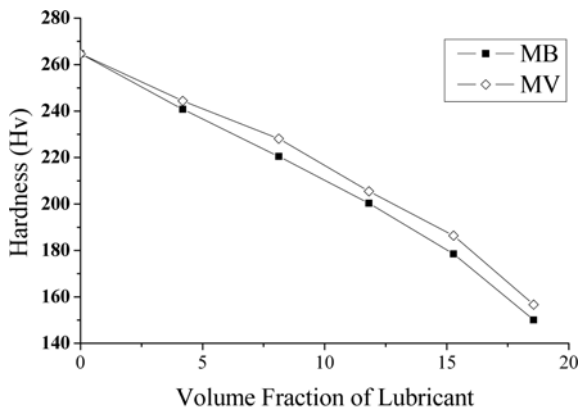


Fig. 2. Change in hardness (a) and flexural strength (b) of bond materials with the addition of graphite or MoS₂.

가한 경우가 흑연을 첨가한 경우보다 모든 첨가합량에서 우수한 기계적 특성을 나타내고 있음을 확인할 수 있었다. 그 원인으로 Kim과 Moon⁴⁾의 연구 결과에서 보고된 바와 같이 윤활첨가제 중 MoS₂의 우수한 조밀화 효과와 Cu/Sn 금속 소결체와의 강한 결합력 등이 작용하였기 때문이라 사료된다. 소결체 시편의 파단면(그림 3)을 보면, 흑연을 첨가한 경우 MoS₂를 첨가한 경우보다 파면의 형태가 거칠고 미세공극 또한 관찰되었다. 이는 흑연의 불균일한 입자형태와 흑연과 Cu/Sn 소결체 금속 사이의 낮은 젖음성에 기인한 것으로 추측된다. 또한 첨가된 흑연 분말의 평균입도로는 16.8 μm, MoS₂ 분말의 경우는 26.6 μm로, 흑연의 작은 입자 크기로 인해 MoS₂를 첨가한 경우보다 소결체 내의 금속 결합재와 더 넓은 계면을 형성 할 것이다. 이러한 요소들은 실제 블레이드의 기계적 특성이나 수명에 있어 직접적인 영향을 줄 것으로 생각된다. 그림 4(a)의 오른쪽 그림은 왼쪽 사진에 threshold 효과를 적용, MoS₂ 입자의 형상과 방향성을 알아보기 쉽게 하기 위한 그림으로, 결합재 내에 첨가된 판상의 MoS₂ 입자들이 동일방향으로 배열, 방향성을 띄

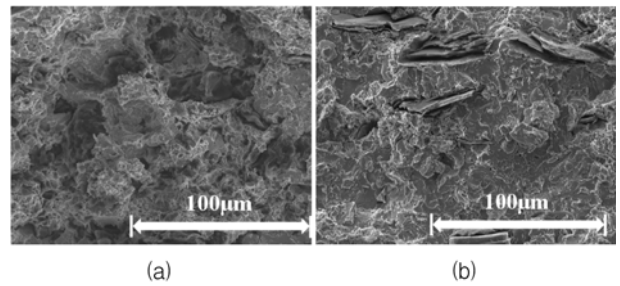


Fig. 3. Difference in fractography of sintered bond materials with the addition of Graphite (a) and MoS₂ (b) respectively.

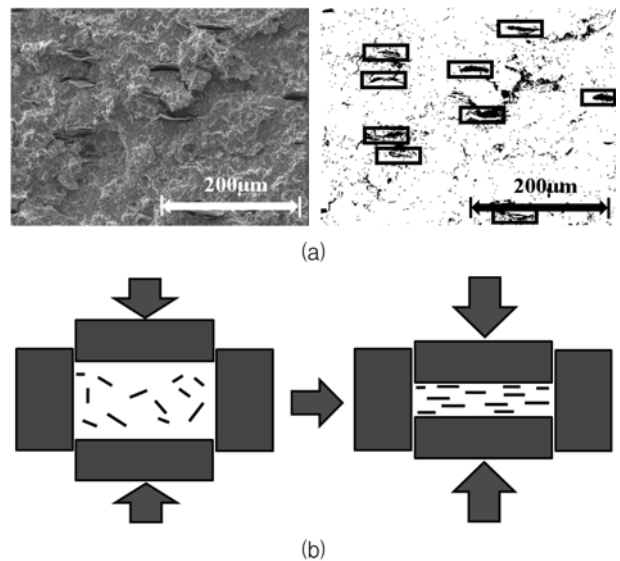


Fig. 4. Micrograph showing directionality of MoS₂ in bond material after sintering (a) and schematic diagram depicting the process of directionality (b).

고 있는 것을 확인할 수 있다. 이는 그림 4(b)에서 설명하듯이 MoS₂의 우수한 유동성으로 인해 가압 소결 중 그 압력과 수직방향으로 배열된 것으로, MoS₂의 우수한 유동성은 불규칙한 형상의 흑연을 첨가한 경우보다 금속 결합재의 조밀화에 유리하게 기여하고 있음을 보여준다.

3.2 Dicing Test를 통한 절삭 효율 비교

그림 5는 다이아몬드 블레이드 시편을 이용 24,795 mm³의 유리를 절삭 후 블레이드의 마모량을 나타낸 그래프이다. 블레이드의 마모에서 흑연을 윤활제로 18.56 vol.% 첨가한 MB5의 경우 가장 높게 나타났다. 동일한 부피분율의 MoS₂를 첨가한 MV5가 그 다음으로, 윤활제를 첨가하지 않은 MA2에서 가장 낮은 블레이드의 마모가 나타났다. 블레이드의 마모량의 관점에서 보면 윤활제가 첨가되지 않은

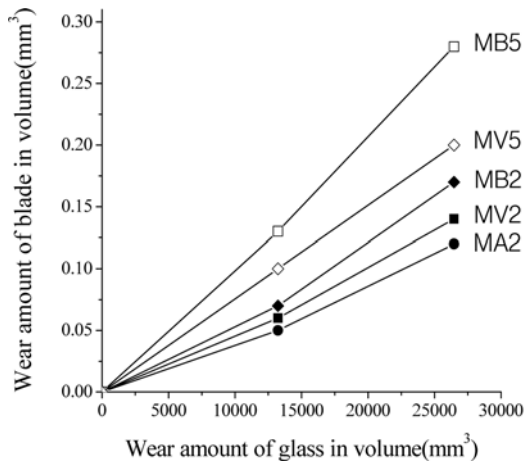


Fig. 5. Change in wear amount of micro-blades in volume with glass cutting.

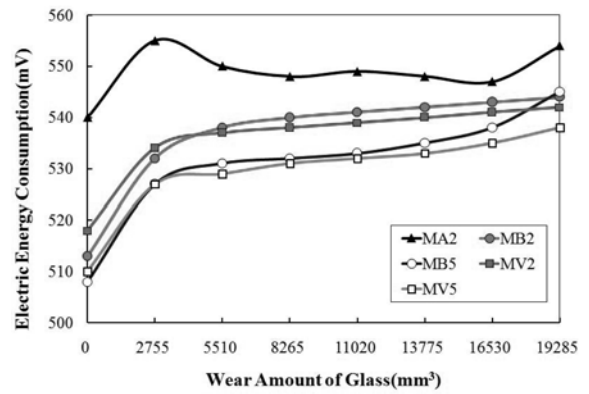


Fig. 7. Change in electric power consumption of micro-blade with the number of cutting path during dicing test where BK7 (JIS) glass workpiece was used.

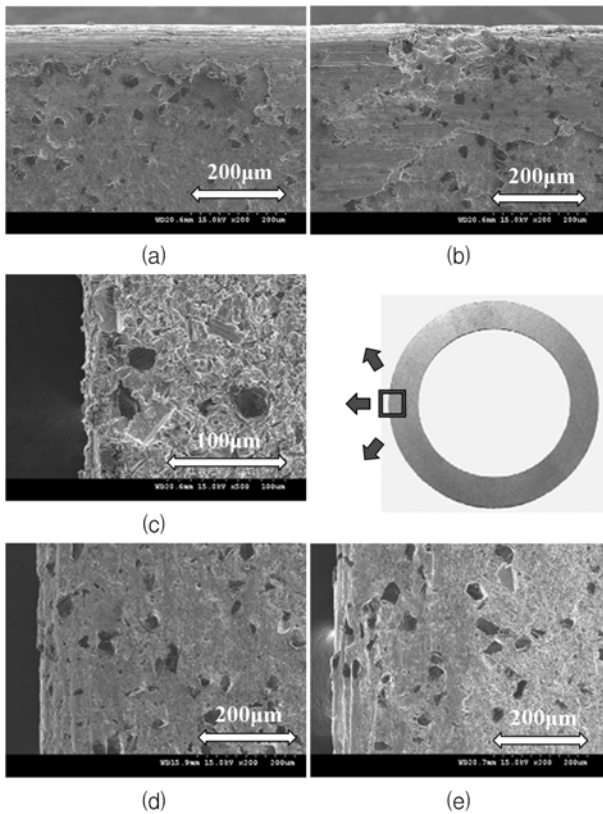


Fig. 6. SEM photographs of micro-blade surface: (a), (b) MA2, (c) before dicing test, (d) MB2 and (e) MV2 after cutting 24,795 mm³/cc of glass workpiece respectively⁴⁾.

MA2 블레이드에서 가장 유리한 특성을 보이나, 이는 Kim과 Moon⁴⁾의 이전 연구를 통해 결합재의 응축에 의한 다이아몬드의 노출 억제 및 결합재의 불규칙한 마멸현상을 유발시켜 블레이드의 절삭성능 지속성이 떨어지는 것을 확인할 수 있었으며, 그림 6에 인용한 선행연구 결과로부터 고체 윤활제 흑연과 MoS₂의 첨가를 통해 결합재의 응축을 상당량

억제할 수 있었던 것을 확인할 수 있었다.

각각 8.12 vol.%씩의 흑연과 MoS₂를 첨가한 MB2와 MV2를 비교하면 흑연을 첨가하였을 경우 MoS₂를 첨가한 경우보다 더 많은 양의 블레이드의 마모가 진행 되었다(그림 5 참조). 윤활제의 첨가량이 증가함에 따라 블레이드의 마모도 심해짐을 알 수 있고, 그 마모량에 있어 흑연을 첨가한 경우에서 더 높은 증가량을 보임을 확인할 수 있다. 이는 앞에서 결합재의 기계적 특성에서 언급했던 바와 같이 결합재 내의 윤활첨가제의 형상과 양, 물성 및 입도 그리고 Cu/Sn 금속과의 결합력과 젖음성과 관련이 있기 때문이라 생각된다.

그림 7은 윤활제 첨가에 따른 블레이드의 유리 절삭 시 소모되는 순간 소모 전력을 비교한 그래프로 전반적으로 윤활제를 첨가하지 않은 MA2가 가장 높고 MoS₂를 첨가한 경우 가장 낮게 나왔다. 이는 흑연과 MoS₂ 자체의 마찰계수 차이에서 기인한 현상으로, 일반적으로 흑연(0.06~0.1)⁶⁾의 절반 이하의 마찰계수 값을 갖는 MoS₂(약 0.03~0.05)⁷⁾의 첨가를 통해 블레이드의 절삭시험에서 상대적으로 더 높은 절삭효율을 나타내었다고 생각된다.

절삭 초기에 있어서는 오히려 흑연을 첨가한 경우보다 MoS₂를 첨가한 경우에서 더 높은 전력소모를 보임을 확인할 수 있는데, 이는 블레이드 외곽의 MoS₂ 분해에 의한 현상이다. 600°C 이상에서의 소결공정을 거친 블레이드 제조시 흑연과 MoS₂의 고온안정성 및 분해가능성을 알아보기 위하여 두 윤활첨가제에 대한 TGA 열분석시험을 행하였으며 그 결과를 그림 8에 나타내었다. MoS₂의 경우 400~600°C 사이에서 반응이 발생하는 것을 확인할 수 있었으며, Shigegaki 등⁸⁾은 다음과 같은 반응에 기인함을 보고하였다.

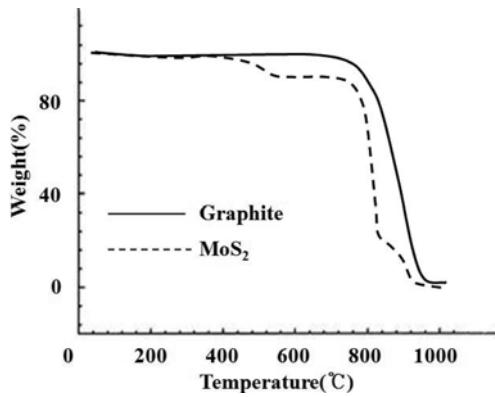
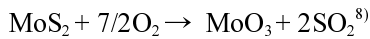


Fig. 8. TGA curves showing weight changes of the two solid lubricants as a function of temperature.



실제 블레이드의 제조 공정에서는 초기 진공 이후 H₂ 가스가 5% 섞인 N₂ 혼합가스 주입하여 불활성 분위기를 유지 하지만, 분말상태의 재료를 몰드에 충전하는 과정에서 산소가 몰드 내부 분말들 사이에 유입된다. 이때 잔류 산소가 소결 중 고온에 가장 먼저 노출되는 표면 부분의 MoS₂와 반응하여 블레이드 외부에 첨가된 윤활제가 분해되어 윤활특성이 훼손될 수 있음을 시사해준다. MoS₂의 분해로 인해 윤활특성이 훼손된 블레이드의 바깥부분은 이후 절삭과정을 통해 마모되고, 안쪽의 MoS₂가 다시 노출되면서 절삭 시 전력소모량은 MoS₂의 윤활효과로 인해 줄어들게 된다.

3. 결 론

다이아몬드 블레이드용 Cu/Sn 결합체 재료에 있어 윤활 첨가제로 MoS₂가 흑연과 동일한 부피 비율이 첨가되었을 경우 우수한 기계적 특성을 나타

내고 있음을 확인할 수 있었다. 윤활제 자체의 물성과 형상 및 입도, Cu/Sn 금속 결합체의 기지조각과 우수한 결합력 등에 기인함을 알 수 있었다.

실착절삭성능시험을 통하여 절삭 시 단순 외경 감소에 대한 블레이드의 수명과 소모되는 순간 전력소모량을 비교 조사하였다. 흑연 윤활제와 비교할 때 MoS₂를 동일한 부피비율로 첨가하였을 경우 수명과 마모감량 등을 고려할 때 전반적으로 더 우수한 절삭 효율을 나타냄을 관찰하였다.

블레이드의 절삭 초기에 있어 MoS₂를 첨가한 경우 전력소모에 있어 흑연을 첨가한 경우보다 더 높았던 것은 600°C 이상의 소결 공정 중 표면 부분의 MoS₂가 고온 상태에서 몰드 내 잔류 산소와 반응하여 그 윤활 특성이 훼손, 발휘되지 못하였음에 기인하였다. 이 문제는 블레이드 제조 후 드레싱을 함으로써 쉽게 해결될 수 있다.

참고문헌

1. M. Y. Yang, J. Kor. Soc. Machine Tool Engrs., 30 (1990) 36.
2. H. K. Tnshoff, H. Hillmann-Apmann, J. Asche, Diam. Rel. Mat., 11 (2002) 736.
3. K. Y. Eun, J. Kor. Ceram. Soc., 10 (1995) 536.
4. S. H. Kim, J. C. Moon, J. Kor. Inst. Surf. Eng., 41 (2008) 335.
5. M. J. Assael, S. Botsios, Gialou, I. N. Metaxa, Int. J. Therm. Sci., 26 (2005) 1595.
6. I. M. Hutchings, Tribology : Friction and Wear of Engineering Materials, St. Edmundsbury Press, Great Britain, (1992) 48.
7. T. J. Moon, H. G. Yoon, J. Kor. Soc. Trib. Lub. Eng., 5 (1989) 12.
8. Y. Shigegaki, S. K. Basu, M. Wakihara, M. Taniguchi, J. Therm Anal., 34 (1988) 1427.