

충진 윤활제의 첨가량에 따른 블레이드용 결합제의 기계적 특성

The change in mechanical properties of bond materials for micro-blades with the amount of lubricants

김 송 희*
Kim, Song-Hee

Abstract

Graphite and MoS₂ were added respectively to the Cu/Sn bond materials of the same composition as a lubricant in order to find out the effect of lubricants on the mechanical properties and the increase in density of the sintered products for microblades. The addition of MoS₂ as a lubricant was more beneficial to strength, fracture toughness, and hardness as well as densification than graphite. MoS₂ seemed to be more effective in reducing the friction between the metallic powders and die wall during hot pressing process. Due to the better wettability of MoS₂ with bond metal alloy, less amount of interfacial defects which is detrimental to mechanical properties use observed.

키워드 : 마이크로블레이드, 본드재료, 파괴인성, 윤활제첨가효과, 계면결합
Keywords : micro-blade, bond material, fracture toughness, interfacial defects

1. 서론

공구 산업은 첨단 기술 산업으로 초정밀도가 요구되며, 따라서 국내 diamond Blade 제조업체의 제품 품질 향상을 위한 연구는 필수적이다. 현재 국내의 반도체산업이 대단히 활성화되어 있으므로 반도체 package 절단에 적용되는 diamond micro blade의 수요가 증가추세에 있다. 이러한 국내시장을 겨냥하여 고품질과 저가의 외국제품들이 국내시장을 공략하고 있다. 이에 대해 국내 diamond micro blade 제조업체의 생산품 품질을 향상시켜야 외국제품과의 경쟁력을 유지할 수 있으며, 품질향상은 필수적이다. 따라서 본 연구에서는 국내에서 생산되는 micro-blade의 품질을 향상시키고자 새로운 조성의 다양한 bond 합금재료를 개발하고, bond 합금재료의 이상적인 소

결 조건을 찾아 내구성과 절삭성이 우수한 micro-blade를 개발하기 위한 연구를 추진하였다. 따라서 이번 연구목표로는 반도체 및 전자산업에 이용되는 microblade의 결합제에 충진윤활제로 흑연(이하 Gr로 칭함)과 MoS₂를 첨가하였을 때 굽힘강도, 경도, 및 파괴인성에 미치는 영향을 조사함으로써 우수한 결합제를 개발하는데 그 목적이 있다.

2. 시편 제조 및 실험 방법

2.1 시편 제조

Microblade에 적합한 bond재료를 개발하기 위하여 다양한 금속 분말 조성을 이용하였으며, 표 1에 그 조성을 나타내었다. 미리 합금화 된 분말을 사용하지 않고 기계적으로 혼합된 합금성분을 열처리함으로써 편석경향을 감소시키고 균질화를 개선

* 강원대학교 신소재공학과 교수, 공학박사

할 수 있다는 선행연구 결과를[1] 참고로 turbo ball mixer를 이용하여 금속 분말을 기계적으로 혼합한 후 진공저항가압소결기(HP)를 이용하여 시편을 제조하였다[2]. 이를 Cu와 Sn의 합금분말을 이용하여 제작한 같은 조성의 결합재와 비교시험을 통하여 그 효과를 규명하고자 하였다. 또한, 최적 소결상태를 얻고자 600~800℃에서 분말의 조성에 따라 각각 2~20분씩 holding time을 주었고, 이후 로랭과 공랭을 통하여 microblade용 금속 결합 소결체 시편을 제조하였다.

표1. 실험에 사용된 Micro-blade 용 결합재 시편의 화학조성 [단위: wt.%]

Bond	Cu(전해동)	Sr	CuSn33	Fe	Co	Ni	Gr	MoS ₂	Ag
MA2	78	22							
MB1	MA2:99						1		
MB2	MA2:98						2		
MB3	MA2:97						3		
MB4	MA2:96						4		
MB5	MA2:95						5		
MBM1	MA2:99							1	
MBM2	MA2:98							2	
MBM3	MA2:97							3	
MBM4	MA2:96							4	
MBM5	MA2:95							5	
MC1	30		70						

Micro blade용 결합재의 조성은 Cu 분말 78 wt.%, Sn 분말 22wt.%를 기본조성(MA2)으로 제작하였으며, 윤활증진제로서 Gr와 MoS₂의 첨가효과를 비교 조사하기 위해 표 1에서 나타내듯이 MA2조성에 1~5 wt.%의 Gr를 첨가한 조성(MB1~MB5)과 1~5 wt.%의 MoS₂를 첨가한 조성(MBM1~MBM5)의 시편을 제작하였다.

2.2. 특성평가

가압 소결을 통해 제조된 microblade 결합 소결체 시편들에 대한 기계적 특성의 측정을 위해서 macro vickers 경도계(VMT-7S)를 이용하여 경도를 측정하였고, MTS사의 servo-hydraulic dynamic testing machine(MTS810 model)을 이용하여 20mm/sec의 변위제어로 굽힘 강도와 파괴인성을 평가하였다. 평면변형 파괴인성측정(K_{IC})을 위하여 방진 가공된 노치로부터 3점 굽힘 반복 파괴하중을 가하여 예비균열이 시편 폭의(w)의 비가 0.5가 되게 성장시킨 후 파단시험을 통하여 측정하였다.

3점 굽힘 시험을 Fig. 1에 도식적으로 나타내었

으며, 굽힘 강도(σ_{b3})와 파괴인성(K_{IC})는 다음 식 (1), (2)에 의하여 구할 수 있다[3].

$$\sigma_{b3} = 3PL/2bW^2 \tag{1}$$

$$K_{IC} = 3PL/2bW^2 \times a^{1/2}Y \tag{2}$$

여기서, K_{IC}: 파괴인성, σ_{b3}: 3점 굽힘 강도, P: 최대하중, L: 하부 지지점간 거리(36mm), b: 시험편의 두께, W: 시험편의 폭, a: 균열길이 식(2)의 Y는 아래와 같이 구할 수 있다.

$$Y = A + A_1(a/W) + A_2(a/W)^2 + A_3(a/W)^3 + A_4(a/W)^4$$

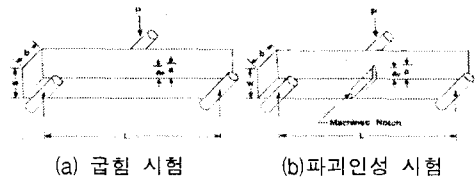


Fig. 1. 굽힘 강도 및 파괴인성 시험에 대한 도식도

윤활제의 첨가가 소결상태와 기계적 특성에 미치는 결과를 해석하기 위하여 micro-blade 결합재의 미세조직과 파면조사를 위하여 주사전자현미경(Jeol JSM-5410)과 EDAX를 이용하여 다양한 배율로 관찰하였고, 그리고 제조 조건과 조성의 차이에서 오는 밀도 차이를 Micromeritics사의 Accupyc-1330을 이용하여 측정하였다[4]. 그리고 소결체의 기공률을 SEM과 상분석기(Zeiss 340)을 이용하여 측정하였다.

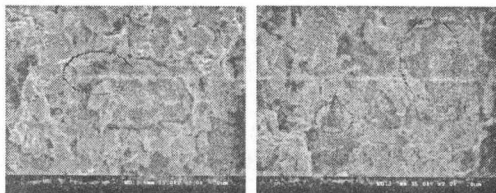
3. 실험 결과 및 고찰

표 2에 나타낸 것처럼 MB1부터 MB5는 표 1에 나타낸 MA2(Cu:Sn의 중량비가 78:22)에 Gr를 1에서 5wt.%까지 첨가하여 제작한 금속결합소결체를 의미하며 MBM1부터 MBM5는 MA2에 MoS₂를 1에서 5wt.%까지 첨가한 금속결합소결체를 의미한다. MB계열에서는 Gr를 1~5wt% 첨가, MBM계열에서는 MoS₂를 1~5wt% 첨가하여 제조했다는 것을 제외하고, 그 외 제조조건은 같게 하였다.

표 2 MB계와 MBM계 금속결합소결체의 윤활충진제의 첨가량에 따른 경도(a), 굽힘 강도(b), 파괴인성(c)의 변화

Gr 및 MoS ₂ 첨가량		1wt%	2wt%	3wt%	4wt%	5wt%
		MB1	MB2	MB3	MB4	MB5
		MBM	MBM	MBM	MBM	MBM
		1	2	3	4	5
경도 (HV)	MB계열	182	179	174	167	158
	MBM계열	211	208	204	201	197
굽힘강도 (Mpa)	MB계열	552.6	479.2	434.1	359.2	360.5
	MBM계열	628.6	575.9	517.2	473.9	447
파괴인성 (MPa√m)	MB계열	24	23.1	21.5	20.5	19.4
	MBM계열	24.8	24.3	24.1	23.9	23.7

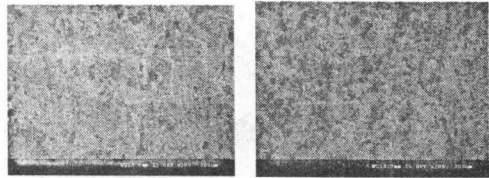
표 2에서 보면 윤활 충진첨가제 Gr와 MoS₂의 첨가량이 증가할수록 경도가 감소하였다. Gr 1%를 첨가한 경우 182Hv를 나타냈으나 첨가량이 5%인 경우에는 158Hv로 약 13%정도 감소한 반면, MoS₂가 첨가된 경우에는 211Hv에서 197Hv로 약 7%의 적은 감소세를 보였다. 굽힘강도의 경우 Gr의 첨가량이 1%에서 5%로 증가함에 따라 553MPa에서 361MPa로 35%정도 감소한 반면, MoS₂가 첨가된 경우에는 629MPa에서 447MPa로 29%의 감소를 나타냈다. 5%의 윤활제가 첨가된 경우 파괴인성(K_{IC})은 Gr이 첨가된 경우에는 24MPam^{1/2}에서 19.4MPam^{1/2}로 약 19%정도 감소한 반면, MoS₂를 첨가하였을 경우는 4.4%의 적은 감소세를 보였고, 약 3%의 MoS₂를 첨가하였을 때까지 거의 감소하지 않았음이 관찰되었다.



(a) MB3 x2000 (b) MB5 x2000

Fig. 2. MB 계열 시편의 Gr 첨가량별 고 배율에서의 파단면 비교 사진

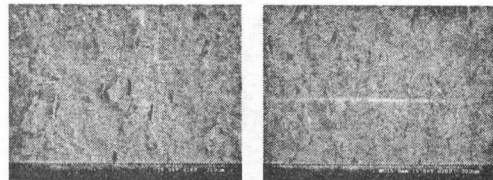
Fig. 2(a), (b)와 Fig. 3(a), (b)에서 관찰되었듯이, 그 Gr 첨가량이 증가함에 따라 Gr의 전단파괴 양상이 증가하는 경향을 나타내고 있음이 관찰되었다. Gr량이 증가할수록 Gr과 금속 결합체사이의 불완전한 결합에 의한 계면결합으로부터 초기 균열이 생성과 성장을 통해 벽개파괴가 조장되고 있으며, 이에 따른 계면으로부터 조장된 벽개파괴에 의하여 취성파괴 빈도가 증가하기 때문에 Gr량이 증가할수록 파괴인성과 굽힘강도가 낮아진 것으로 사료된다[5].



(a) MB1(Gr 1wt%) (b) MB5(Gr 5wt%)

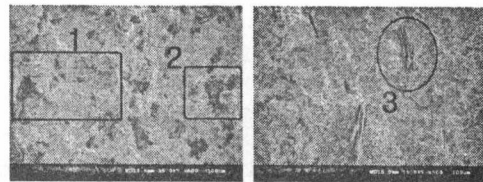
Fig. 3 680℃에서 2분 동안 소결한 MB 시편의 Gr 함량 변화에 따른 파면의 변화.(x200)

←소결시 가압방향



(a) MBM1(MoS₂ 1wt%) (b) MBM5(MoS₂ 5wt%)

Fig. 4. 680℃에서 2분동안 소결한 MBM계열 시편의 MoS₂ 함량 변화에 따른 파면의 변화.(x200)



(a) MB2 (b) MBM2

Fig. 5 MB2, MBM2 Bond 재료의 파면사진

Fig. 5에서 (a)와 (b)는 충진윤활제 Gr이 첨가된 MB2과 MoS₂가 충진윤활제로 첨가된 MBM2의 파단면을 보여주는 주사전자현미경을 이용한 파면사진이다. Gr을 첨가제로 사용한 MB2의 경우(Fig. 5(a)) MoS₂를 첨가한 MBM2경우(Fig. 5(b))보다 많은 미세 공극이 관찰되고 있다. 이는 Gr 입자의 불규칙한 형상과 Gr과 CuSn합금의 만족스럽지 못한 젖음성에 기인한 것으로 사료된다[6].

한편 판상형태의 MoS₂ 입자는 Fig. 4와 Fig. 5(b)에서 나타나듯이 소결시 가압방향에 수직으로 배열하고 있음이 관찰되고 있다. 이는 MoS₂의 윤활효과가 가압소결 시 충진에 크게 이바지하였음을 보여주고 있다. 이는 Fig. 6의 개요도에서 설명하듯이 충분한 윤활성으로 인하여 판상의 MoS₂가 금형벽과 분말사이의 마찰력을 감소시키고 분말사이의 유동성이 충분히 증가하여 조밀화를 촉진

진했고, 판상의 MoS₂는 가압방향에 수직으로 놓이게 됨을 알 수 있다.

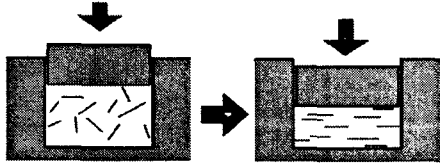


Fig. 6 Compaction 전후에 판상 MoS₂ 분말의 높은 윤활 및 유동성에 의한 전치거동 개요도

Fig. 7에 보는 바와 같이 Accupyc-1330을 이용한 기공도 조사결과가 보여주듯이 MoS₂를 첨가하였을 경우가 Gr을 첨가하였을 경우에 비하여 기공도가 적게 나타남을 보여주고 있으며 이는 앞의 Fig. 6을 이용한 설명과 부합됨을 알 수 있다.

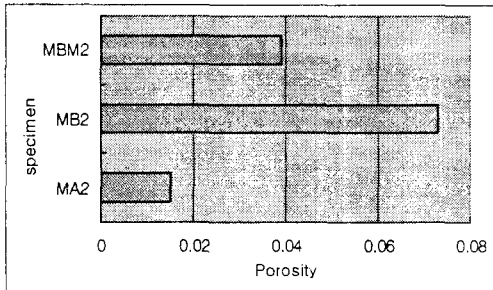


Fig. 7 윤활첨가제를 2% 첨가한 시편의 기공도 (MA2는 윤활제가 첨가되지 않은 MB2나 MBM2와 같은 조성의 결합재)

따라서 Gr이 1%가 첨가된 MB1에 비하여 3%가 첨가된 MB3 시편에서는 파괴인성이 약 10%가 감소하였고 Gr이 5%가 첨가된 MB5에서는 약 20%의 감소를 나타내었다. 그러나 MoS₂가 첨가된 경우는 1% 첨가된 MBM1에 비하여 3%가 첨가된 MBM3시편의 경우는 3% 첨가될 때까지 파괴인성의 감소는 단지 3%에 불과하였고, 5%가 첨가되었을 경우도 파괴인성의 감소는 단지 4.5%에 지나지 않았음을 알 수 있었다. 이로 인하여 MoS₂가 충전 윤활제로서 그 성능이 Gr보다 우수함을 알 수 있었다.

윤활제가 1%첨가되었을 때 MoS₂가 첨가된 경우가 Gr이 첨가된 경우에 비하여 굽힘강도가 약 14% 높게 나타나는 것을 알 수 있었으며, 이는 Fig. 2와 Fig. 5에서 관찰된 바와 같이 Gr이 첨가된 경우가 계면 결합과 높은 공극률(Fig. 7참조)에 기인하고 있다고 사료된다.

4. 결론

Gr을 충전윤활제로 사용한 MB계열시편이 낮은 파괴인성을 보인 것은 MoS₂를 충전윤활제로 사용하였을 때 보다 윤활효과가 우수하지 못하였고, 이로 인하여 흑연이 첨가된 경우 기공도가 높게 나타났다.

주사전자현미경(SEM) 관찰에서 나타났듯이 MoS₂에 비하여 기조직과의 상대적으로 낮은 젖음성으로 인한 계면결함에 기인하기 때문으로 사료된다. 이는 파괴인성뿐만 아니라 낮은 굽힘 강도와 경도의 원인이 되었다고 사료된다.

감사의 글

본 연구는 지역혁신인재양성 강원신소재환경사업단의 산업체필요기술개발연구 사업에 의하여 지원된 연구결과와 일부이며 이에 감사드립니다.

참 고 문 헌

- [1] Jun Pyo Hong, J. of the Korean Inst. of Met. Mater., Vol.32, No.12, 1994.
- [2] Ki Hong Cho and Joo Wan Lee, Development of Mg Alloys by Rapid Solidification Processing, 22, pp128-137, 1991.
- [3] Song Hee Kim and Jong Chul Moon, "The effect of sintering condition and composition on mechanical properties of bond materials for Microblades", Journal of Industrial Technology, Kangwon National University, Vol.27B, pp137-144, 2007.
- [4] W. Schatt, K.P.Wieters, Powder Metallurgy Processing and Materials, Germany, pp179-184, 1994.
- [5] Hong Moule Kim, Soon Jik Hong, Byong Sun Chun : Effects of Graphite Content on the Wear Characteristics of Al / Graphite Alloy Composites, Journal of the Korean Institute of Metals and Materials (South Korea). Vol. 38, no. 7, pp.905-910, 2000.
- [6] Jong O Ham: Study on the brazing character of diamond grit with Cu-Sn-Ti system and Ni-Sn-Cr system filler alloys, Ph.D Thesis, Inha University, 2007.
- [7] Jun Pyo Hong, The fracture Toughness of Sintered WC-Co Alloys, J. of the Korean Inst. of Met. Mater, Vol.32, No.12, 1994.