

## 폴리아세탈의 입자유동베드 가공에서 회전속도와 공기 유량이 재료제거 특성에 미치는 영향

장양재<sup>1</sup> · 김태경<sup>2</sup> · 황현덕<sup>2</sup> · 서준영<sup>2</sup> · 이다솔<sup>3</sup> · 이현섭<sup>2,4\*</sup>

<sup>1</sup>동명대학교 대학원 기계시스템공학과, <sup>2</sup>동명대학교 기계공학부

<sup>3</sup>부산대학교 기계공학부, <sup>4</sup>동명대학교 융합기계기술연구소

### Effect of Rotating Speed and Air Flow Rate on Material Removal Characteristics in Abrasive Fluidized Bed Machining of Polyacetal

Yangjae Jang<sup>1</sup>, Taekyoung Kim<sup>2</sup>, Heondeok Hwang<sup>2</sup>, Joonyoung Seo<sup>2</sup>,  
Dasol Lee<sup>3</sup> and Hyunseop Lee<sup>2,4\*</sup>

<sup>1</sup>Graduate School, Dept. of Mechanical System Engineering, Tongmyong University

<sup>2</sup>School of Mechanical Engineering, Tongmyong University

<sup>3</sup>School of Mechanical Engineering, Pusan National University

<sup>4</sup>Center for Mechanical Convergence Engineering, Tongmyong University

(Received August 24, 2017; Revised September 17, 2017; Accepted September 18, 2017)

**Abstract** – Abrasive fluidized bed machining (AFBM) is similar to general abrasive fluidized machining (AFM) in that it can perform polishing of the outer and inner surfaces of a 3-dimensional shape by the flow of particles. However, in the case of AFM, the shear force generated by the flow of the particles causes material removal, while in AFBM, the abrasive particles are suspended in the chamber to form a bed. AFBM can be used for deburring, polishing, edge contouring, shot peening, and cleaning of mechanical parts. Most studies on AFBM are limited to metals, and research on application of AFBM to plastic materials has not been performed yet. Therefore, in this study, we investigate the effect of rotating speed of the specimen and the air flow rate on the material removal characteristics during AFBM of polyacetal with a horizontal AFBM machine. The material removal rate (MRR) increases linearly with increase of the rotating speed of the main shaft because of the shear force between the particles of the fluidized bed and the rotation of the workpiece. The reduction in surface roughness tends to increase as the rotating speed of the main shaft increases. As the air flow rate increases, the MRR tends to decrease. At a flow rate of 70 L/min or more, the MRR remains almost constant. The reduction of the surface roughness of the specimen is found to decrease with increasing air flow rate.

**Keywords** – abrasive fluidized bed machining(입자유동베드가공), rotating speed(회전속도), air flow rate(공기유량), material removal rate(재료제거량), surface roughness(표면거칠기)

### 1. 서 론

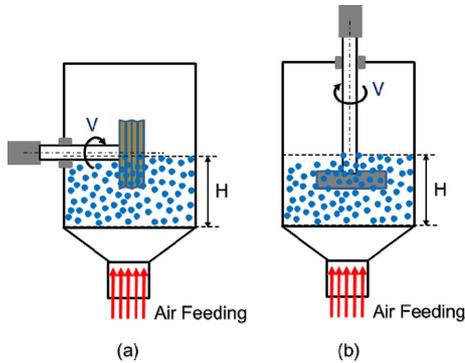
입자유동 베드 가공(abrasive fluidized bed machining; AFBM) 공정은 1977년 Soviet Research Institute for Abrasive and Grinding(VNIIASh)에서 터보 입자 피니

싱(turbo-abrasive finishing)[1]이라는 명칭으로 최초로 개발되었고, 2001년 복잡한 3차원 형상의 알루미늄 주조 부품의 피니싱(finishing)에 적용되면서 최근 재조명 받기 시작하였다. 이후 다양한 종류의 난삭재의 피니싱 및 표면 클리닝(cleaning) 등으로 그 적용 영역을 확대해 오고 있다.

입자유동 베드 가공은 입자의 유동에 의해 3차원 형상의 외면 및 내면의 연마가공을 수행할 수 있다는 점에서

\*Corresponding author : hslee@tu.ac.kr

Tel: +82-51-629-1597, Fax: +82-51-629-1589



**Fig. 1. Type of abrasive fluidized bed machining systems: (a) Horizontal AFBM and (b) Vertical AFBM.**

일반적인 입자유동 가공(abrasive fluidized machining; AFBM)과 유사하나 입자유동 가공의 경우 입자 자체의 유동에 의해 발생하는 전단력에 의하여 가공이 이루어 지지만, 입자유동 베드 가공은 연마입자를 챔버(chamber) 내에 부유시켜 베드를 형성한 후 피삭재를 회전시켜 발생하는 전단력에 의해 가공이 이루어지는 점에서 차이가 있다[1-4]. 또한, 입자유동 베드 가공은 배럴연마(barrel polishing)에 비하여 높은 재료제거율(material removal rate; MRR)을 보인다고 알려져 있다[4]. 또한 입자유동베드 가공은 디버링(deburring), 연마(polishing), 에지 윤곽형성(edge contouring), 샷피닝(shot peening), 세정(cleaning) 등에 활용이 가능하다[1-5].

입자유동베드 가공 장치는 Fig. 1과 같이 그 형태에 따라 수직축에 시편을 고정하는 수직형, 수평축에 시편이 고정되는 수평형으로 크게 구분될 수 있다. 수직형 가공장치는 입자와 접촉이 빈번하게 이루어지는 시편의 하단부 가공에는 용이하나 피삭재 전면 가공에는 어려움이 있다. 반면, 수평형 장치는 재료제거율은 상대적으로 낮을 수 있으나 대칭형의 3차원 제품을 가공하는데 용이한 특징을 가진다.

입자유동베드 가공을 활용하여 알루미늄 합금[2,6], 스프레이 코팅층[7] 등의 가공에 대한 연구가 이루어지고 있으나 대부분의 대상 소재가 금속류에 한정되고 있으며 플라스틱 계열의 소재 가공에 대한 연구는 이루어지지 않고 있는 실정이다. 특히, 폴리아세탈(Polyacetal)은 엔지니어링 플라스틱 중에서 금속과 유사한 기계적 성질을 가지고 있어 기계부품으로 많이 사용되고 있다.

따라서, 본 연구에서는 폴리아세탈의 수평형 입자유동베드 가공 중 시편의 회전속도와 공기의 유량이 재

료제거 특성에 미치는 영향에 관하여 살펴보고자 한다.

## 2. 연구방법 및 내용

### 2-1. 실험 장치의 구성

Fig. 2는 실험을 위해 설계된 입자유동베드 가공 시스템을 보여준다.

제작된 입자유동베드 가공시스템은 크게 시편 높이 조절부, 피삭재를 회전시키는 주축부, 입자가 부유되는 챔버부, 시스템 하부로부터 공기를 유입시키는 호퍼(hopper)부로 구성이 된다. 호퍼부의 상단에는 챔버로부터의 입자 유입 방지와 공기 주입을 위한 분배패널(distribution panel)이 삽입된다. 주축의 최대 회전속도는 1700 rpm이며, 콤프레샤(Compressor)에서 호퍼로 공급되는 최대 공기의 압력은 0.1 MPa이다.

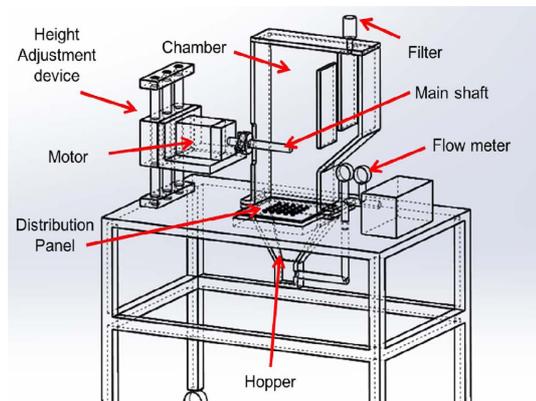
### 2-2. 실험 방법

#### 2-2-1. 주축 회전속도 실험

주축의 회전 속도를 400, 800, 1200, 1600 rpm으로 변화시키며 실험을 진행하였으며, 공기의 유속은 70 L/min으로 고정하였다. 총 가공시간은 1시간이다. 시편은 100 mm 직경과 15 mm 두께의 원형 폴리아세탈을 준비하였으며, 입자유동베드 가공 전 #120의 사포로 표면을 가공하였다. 챔버 바닥면에서 시편의 중심까지의 거리는 110 mm이다. 연마입자는 알루미나(alumina) 입자로 직경 240 μm의 크기를 가진다.

#### 2-2-2. 공기 유량 실험

공기 유량이 재료의 제거에 미치는 영향을 평가하기 위하여 주축의 회전속도를 1600 rpm으로 고정시켰다.



**Fig. 2. Schematic drawing of AFBM system.**

컴프레사에서 호퍼로 유입되는 공기량은 유량계를 통해 측정하였으며, 0, 50, 70, 100 L/min으로 유량을 변화시키며 각각 1시간의 가공을 진행하였다.

2-1-3. 피삭재의 측정

재료제거율은 정밀저울을 이용하여 측정하였으며, 표면거칠기의 측정은 비접촉식 3차원 표면측정기(NV-E1000, NanoSystem)를 이용하였다. 따라서 본 연구에서 재료제거율은 단위 시간당 피삭재의 무게 변화량(g/hr)을 뜻한다. 표면거칠기의 측정은 폴리아세탈 시편의 양면으로 각각 4회씩(총 8회) 측정이 되었으며 표면거칠기의 측정치와 변량에 관한 평균값을 도시하였다. 사포 가공 후 피삭재의 초기 평균 표면거칠기는 Ra 1.22 μm, Rq 1.58 μm, Rt 11.37 μm, Rz 10.93 μm였다.

3. 결과 및 고찰

3-1. 회전 속도가 가공특성에 미치는 영향

Fig. 3은 주축의 회전속도에 따른 폴리아세탈의 재료제거율을 나타낸 그래프이다. 재료제거율은 주축 회전속도가 증가함에 따라 선형적으로 증가함을 알 수 있다. 이는 유동베드의 입자와 피삭재의 회전 사이에서 발생하는 전단력의 차이로 판단된다.

Fig. 4는 입자유동베드 가공을 1시간 실시한 후 표면거칠기의 변화를 보여주고 있다. 전반적으로 표면거칠기의 감소량은 주축의 회전속도가 증가할수록 커지는 경향을 보이고 있으며, Ra, Rq 감소량은 400 rpm~800 rpm 구간보다 800 rpm 이상부터 거칠기 감소량의 증가 폭이 감소하고 있음을 확인하였다. 반면 Rt와 Rz

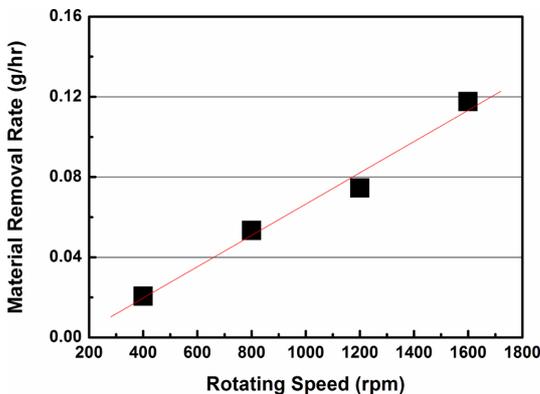


Fig. 3. Material removal rate (g/hr) as a function of rotating speed.

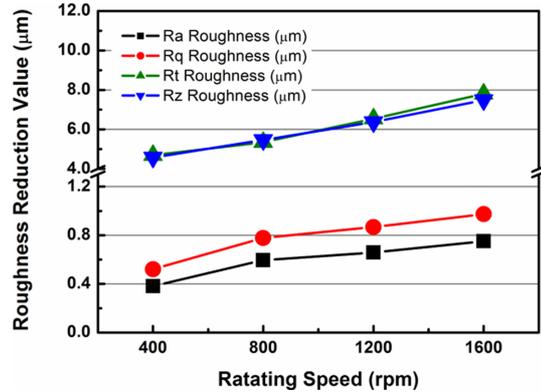


Fig. 4. Roughness reduction value as a function of rotating speed after 1hr of AFBM.

감소량은 주축의 회전속도가 증가할수록 선형적으로 증가함을 알 수 있다. 이는 피삭재의 회전속도가 증가함에 따라 240 μm 직경의 알루미늄 입자가 피삭재 표면 상부의 미소돌기를 빠르게 제거하지만, 입자 크기에 의해 미소표면 거칠기의 감소에는 한계가 있는 반면, 표면에 존재하는 미소 스크래치의 깊이를 감소시키기 때문으로 판단된다.

Fig. 5(a)~(e)는 3차원 표면측정기로 측정된 폴리아세탈 표면과 측정된 표면거칠기의 평균값을 보여주고 있다. Fig. 5(a)는 가공 전 폴리아세탈 시편 표면의 형상을 보여주고 있으며, Fig. 5(b)~(e)는 각각 400, 800, 1200, 1600 rpm의 속도로 1시간 가공 후 시편의 표면을 보여주고 있으며, 측정된 표면거칠기 값들이 주축 회전속도가 증가함에 따라 감소하고 있음을 알 수 있다.

3-2. 공기 유량이 가공특성에 미치는 영향

입자유동베드 가공에서 챔버 내의 입자는 호퍼와 분배패널로부터 공급되는 공기에 의해 부유상태가 된다. 공기주입의 이유는 챔버 내의 입자를 고르게 분배시키고 새로운 입자가 가공에 참여할 수 있도록 하기 위함이다.

Fig. 6은 공기 유량에 따른 재료제거율을 보여준다. 재료제거율은 공기 유량이 증가함에 따라서 급격히 감소하는 경향을 보이고 유량 70 L/min 이상에서는 거의 일정하게 유지됨을 알 수 있다.

기 유량의 증가에 따라 입자유동베드 가공 후 폴리아세탈 시편의 표면거칠기 변화량은 Fig. 7과 같이 감소하는 경향을 보인다.

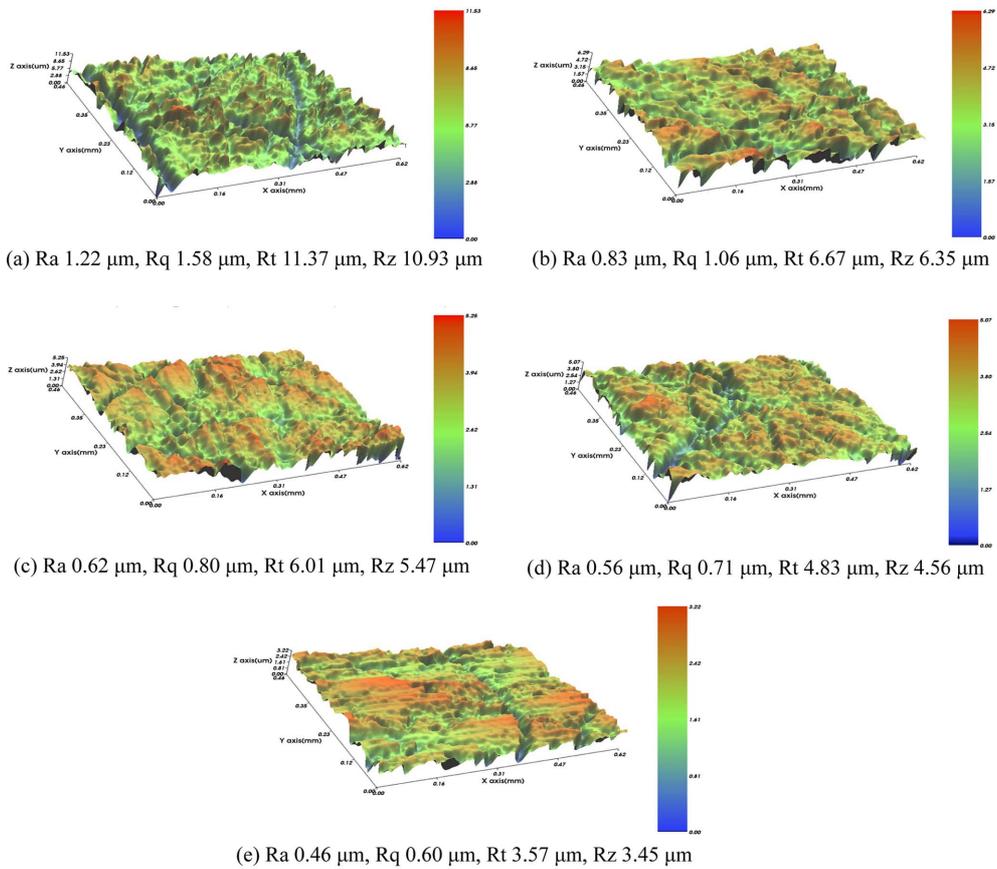


Fig. 5. 3D surface images and roughness values; (a) As received, (b) 400 rpm, (c) 800 rpm, (d) 1200 rpm, and (e) 1600 rpm.

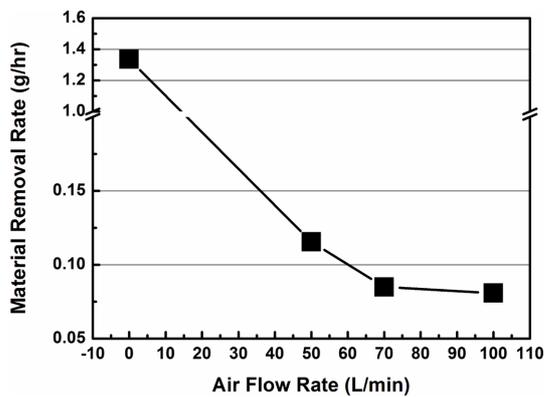


Fig. 6. Material removal rate (g/hr) as a function of air flow rate.

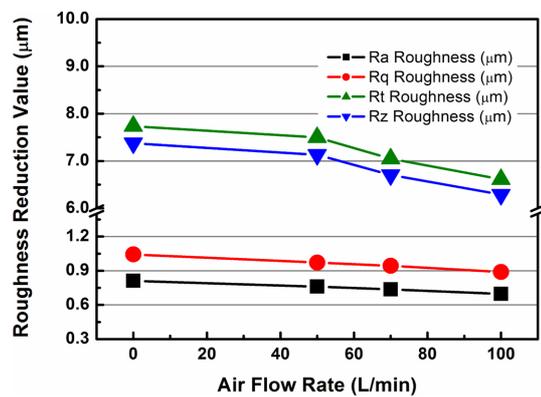


Fig. 7. Roughness reduction value as a function of air flow rate after 1hr of AFBM.

Fig. 8(a)-(d)는 각각 0, 50, 70, 100 L/min의 공기 유량으로 1시간 가공 후 시편의 표면을 보여주고 있으며 측정된 표면거칠기 값들이 공기 유량의 증가에 따라 증가하고 있음을 알 수 있다. 이러한 현상은 챔버

하부로부터 유입되는 공기에 의해 입자들 사이에 순간적으로 공극을 발생시켜 재료제거에 참여하는 입자의 수를 감소시키기 때문에 발생하는 것으로 판단된다. 공기 유량이 없는 경우, 가공 중 온도 상승으로 인하여

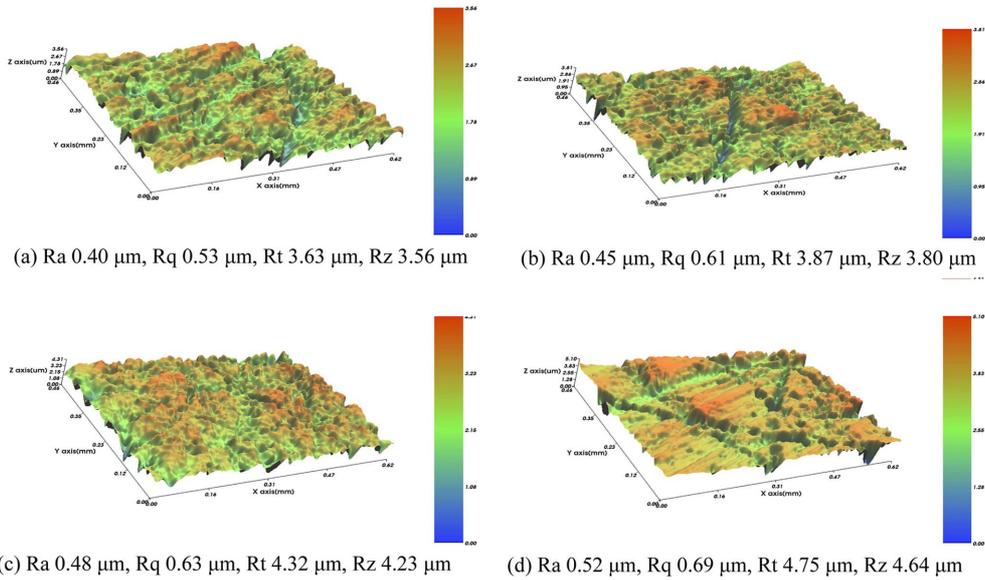


Fig. 7. Roughness reduction value as a function of air flow rate after 1hr of AFBM.

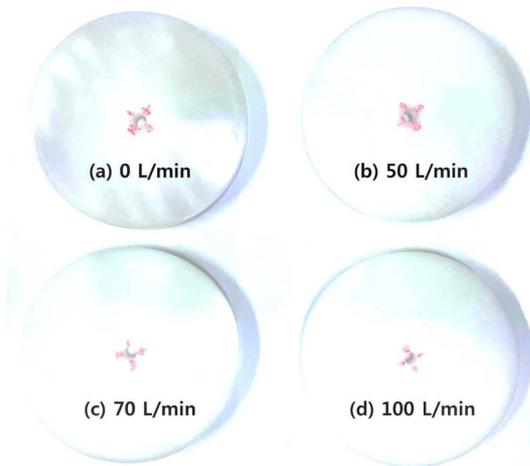


Fig. 9. Pictures of machined polyacetal samples.

가공 중 아래 Fig. 9와 같이 버닝(burning) 현상이 발생하기 때문에 높은 재료제거율과 낮은 표면거칠기를 확보할 수 있더라도 50 L/min 이상의 공기 유량을 공급해줄 필요가 있어 보인다.

#### 4. 결 론

본 연구에서는 폴리아세탈의 입자유동베드 가공에 있어 회전속도와 공기 유량에 따른 재료제거율과 표면

거칠기의 변화에 관하여 연구하였다.

재료제거율은 주축 회전속도가 증가함에 따라 선형적으로 증가하였으며, 이는 유동베드의 입자와 피삭재의 회전 사이에서 발생하는 전단력 영향으로 판단된다. 표면거칠기의 감소량은 주축의 회전속도가 증가할수록 커지는 경향을 보였다. 공기 유량이 증가함에 따라 재료제거율은 급격히 감소하는 경향을 보이고 유량 70 L/min 이상에서는 재료제거율이 거의 일정하게 유지된다. 시편의 표면거칠기 감소량은 공기 유량이 증가함에 따라 감소하는 경향을 확인하였다. 향후 입자유동베드 가공을 3차원 형상의 부품 가공에 적용하기 위해 다양한 가공 변수에 대한 추가 연구가 필요할 것으로 보인다.

#### Acknowledgements

이 논문은 2015년도 정부(교육부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임 (No. NRF-2015R1D1A1A01059266).

#### References

- [1] Massarsky, M. and Davidson, D. A., "Turbo-Abra-sive Machining and Finishing", *Metal Finishing*, Vol. 95, Issue 7, pp. 29-31, 1997.
- [2] Barletta, M., "A new technology in surface finish-

- ing: Fluidized bed machining (FBM) of aluminium alloys”, *J. Mater. Proc. Technol.*, Vol. 173, Issue 10, pp. 157-165, 2006.
- [3] Barletta, M., “Progress in abrasive fluidized bed machining”, *J. Mater. Proc. Technol.*, Vol. 209, pp. 6087-6102, 2009.
- [4] Barletta, M., Gisario, A., Venettacci, S., Bubino, G., “A comparative evaluation of fluidized bed assisted drag finishing and centrifugal disk dry finishing”, *Eng. Sci. Technol. Inter. J.*, Vol. 17, pp. 63-72, 2014.
- [5] Barletta, M., Gisario, A., “High speed finishing of a CuZn16 brass alloy by Abrasive Recirculating Fluidized Bed (ARFB)”, *Powder Technol.*, Vol. 203, Issue 3, pp. 591-602, 2010.
- [6] Barletta, M., Guarino S., Bubino, G., Tagliaferri, V., “Progress in fluidized bed assisted abrasive jet machining (FB-AJM): Internal polishing of aluminium tubes,” *Int. J. Mach. Tool. Manufact.*, Vol. 47, Issue 3-4, pp. 483-495, 2007.
- [7] Polini, R., Barletta, M., Delogy, M., “Fluidized bed micro-machining and HFCVD of diamond films onto Co-cemented tungsten carbide (WC-Co) hardmetal slabs”, *Thin Solid Films*, Vol. 515, Issue 1, pp. 87-94, 2006.