

# MLCC 적층용 진공척의 자기연마와 ELID연삭을 이용한 미세 버 제거 기술

이용철\*, 신건휘\*\*, 곽태수\*\*,#

\*연암공업대학, \*\*경남과학기술대학교

## Deburring Technology of Vacuum Plate for MLCC Lamination Using Magnetic Abrasive Polishing and ELID Process

Yong-Chul Lee\*, Gun-Hwi Shin\*\*, Tae-Soo Kwak\*\*,#

\*Yonam Institute of Digital Technology

\*\*Gyeongsang National University of Science and Technology

(Received 2 June 2015; received in revised form 19 June 2015 ; accepted 21 June 2015)

### ABSTRACT

This study has focused on the deburring technology of a vacuum plate for MLCC lamination using electrolytic in-process dressing (ELID) grinding, and the magnetic-assisted polishing (MAP) process. The surface of the vacuum plate has many micro-holes for vacuum suction. They are easily blocked by the burrs created in the surface-flattening process, such as the conventional grinding process. In this study, the MAP process, the ELID grinding process, and an ultrasonic vibration table are examined to remove the micro-burrs that lead to the blockage of the holes. In the results of the experiments, the MAP process and ELID grinding technology showed significant improvements of surface roughness and deburring performance.

**Key Words** : ELID Grinding(ELID 연삭), MLCC(다층 세라믹 콘덴서), MAP(자기연마), Ultrasonic Vibration Table(초음파 테이블), Vacuum Plate(진공척)

### 1. 서 론

최근 전자기기의 경박단소는 상품경쟁력에 중요한 영향력을 가지며, 실장밀도를 높이기 위한 내부 부품의 소형화가 크게 요구되고 있다. 전자기기에 는 콘덴서 탑재가 필수적이며, 전체 콘덴서 시장의 70%이상을 차지하고 있는 세라믹 콘덴서(MLCC, Multi-Layer Ceramic Condenser)는 소형 및 극소형기 기에 적용하기 쉽도록 극축소화 시킨 제품으로 높은 안정성 및 다양성을 가지고 있다.

MLCC는 세라믹과 니켈판을 수백, 수천 층의 겹 으로 적층시켜 제작되며, 각각의 층은 나노급의 두께를 가지고 있어 높은 적층 정밀도가 요구된다. MLCC 적층을 위한 진공척(Vacuum Plate)은 표면에 진공 흡착을 위한 수 천에서 수 만개의 미세한 마이크로 홀을 가지고 있는 구조이다. 이와 같은 미세 홀은 레이저를 이용하여 홀 가공한 후 진공척의 평면도를 높이기 위한 연삭공정으로 다듬질 된다. 이러한 연삭 과정에서 기 형성된 미세 홀에 버(burr)가 발생함으로써 홀의 진원도가 나빠질 뿐만 아니라 수많은 막힘 홀이 발생하여 진공척의 성능

# Corresponding Author: tskwak@gntech.ac.kr

Tel: +82-55-751-3317, Fax: +82-55-751-3319

을 악화시키는 원인이 되고 있다. 한편, 자기연마 가공(MAP, Magnetic Assisted Polishing) 기술은 고경도의 연마지립과 자성연마재의 혼합물을 전자석에 부착하여 공구로 사용하는 기술로서 절삭저항이 낮고 미세 표면가공 및 미세 버 제거에 우수한 성능을 보여준다<sup>[1]</sup>. 주로 공작물의 다듬질 작업에 활용되며 연삭가공으로 인한 표면변질층 및 연삭가공 흔적 등의 제거에 응용이 가능한 기술이다.

본 연구는 MLCC 적층에 사용되는 진공척의 고경도 표면가공을 위해 연삭가공에서 생성되는 미세 버 제거에 자기연마 및 ELID연삭가공 기술을 적용하여 버 제거 성능을 평가하였다. 실험을 통해 가공 후 진공척의 표면조도 및 표면의 마이크로홀 내부 버의 다소(多少) 혹은 유무(有無)를 기준으로 가공 품위를 평가하고, 최적의 가공방법 및 가공조건을 모색하였다.

## 2. 실험장치 및 실험방법

### 2.1 실험 장치

본 실험에 사용된 MLCC 적층용 진공척은 SKD11 소재를 사용하며 가로, 세로 각각 144mm의 정방형으로 되어 있다. 시편의 표면 가공은 CBN지립의 #200 숫돌로 범용연삭 가공을 하였으며, 진공 흡착을 위한 마이크로 홀이 일정한 간격으로 뚫려있다. Fig. 1과 같이 표면에는 외곽을 따라 2열은 300 $\mu$ m 직경의 마이크로 홀이 가공되어 있으며, 외곽을 제외한 전면에 60 $\mu$ m 직경의 마이크로 홀이 레이저 가공을 통해 형성되어있다. Fig. 2는 진공척을 ELID 연삭 가공하기 위한 실험 장치를 구성한 사진이다. 범용 평면연삭기에는 ELID 전원장치, 숫돌 전해를 위한 전극, ELID 가공 중 출력되는 전압 및 전류를 확인하기 위한 ELID 모니터링 시스템 등으로 구성되어 있다. 또한, 공작물에 초음파 진동을 가해 가공 효율 향상을 기대할 수 있는 초음파 테이블(Ultrasonic vibration table)을 사용하였다. ELID연삭 가공에 사용된 숫돌은 주철 결합제 CBN 숫돌 #325 과 #2,000이다. 서술한 ELID 연삭 장치구성과 연삭 조건은 Table 1과 같다. Fig. 3은 자기연마 가공을 위해 구성한 장치의 사진이다. 자기연마 공구 시스템

은 전자석과 철심으로 만들어진 연마공구, 직류전원장치 그리고 자성연마재로 구성되어 있다. 공구선단과 공작물 표면 사이에 일정한 간극을 유지하고 이 간극에 자성연마재를 채운 다음 직류 전류를 흘리면 자성 연마재는 자화되어 공구선단부터 공작물의 표면까지 브러쉬 모양으로 정렬되고 이것이 유연성을 가진 연마지립 역할을 하게 된다. 자기연마를 위한 가공 조건은 Table 2와 같다.

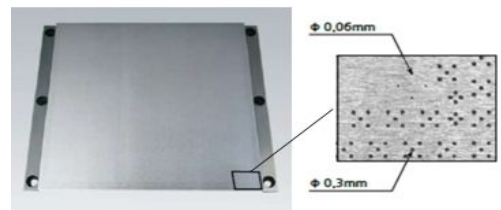


Fig. 1 Vacuum plate and micro-hole on the surface

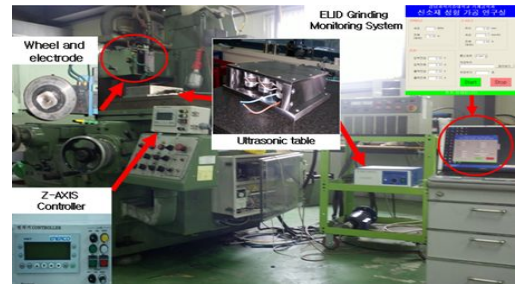


Fig. 2 Experimental setup for ELID grinding

Table 1 Condition for ELID grinding process

Grinding machine		YGS63A
Grinding wheel	Mesh no.	#325, #2,000
	Abrasive	CBN
	Bonding material	Cast iron
	Wheel speed	1800 [rpm]
Reciprocal table speed		11.4 [m/min]
Feed rate		13.2 [mm/min]
ELID power supply		FUJI ELIDER 910
ELID Input voltage		70 [V]
Frequency and amplitude of ultrasonic vibrator		40 [kHz] 2~8 [ $\mu$ m]
Workpiece material		STD11

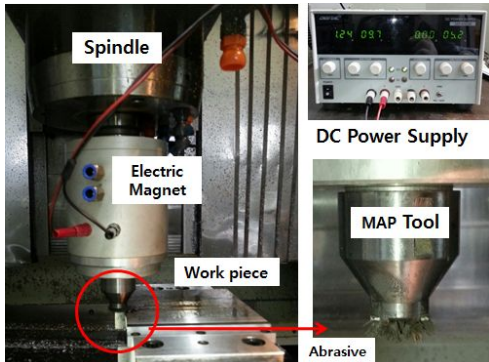


Fig. 3 Experimental setup for magnetic abrasive polishing process

Table 2 Condition for magnetic abrasive polishing

Tool	Shape	Flat end & slit type
	Diameter	
Components of magnetic abrasive slurry	$\Phi 20\text{mm}$	
	Ferrite(#325) (4g)	
	Diamond abrasive (2.8g) (#8,000 / #14,000)	
	Oil	
Input current	1.24 [A]	
Input voltage	0.97 [V]	

성능을 비교/분석하기 위하여 연삭 가공면 비교 실험과 자기연마 가공 비교 실험으로 구분하여 실시하였다. 연삭 가공면 비교 실험은 CBN #200 슷들을 이용한 범용 연삭 가공면과 CBN #325, CBN #2,000 슷들을 각각 이용한 ELID 연삭 가공면, CBN #2,000 슷들 및 초음파 테이블을 이용한 (US\_ELID) ELID 연삭 가공면으로 구분하였다. 자기연마 가공 비교 실험은 연삭 가공면 비교 실험을 통해 제작된 가공표면에 대하여 자기연마 공구의 방향과 속도에 따라 Fig.4와 같이 가공조건을 설정하여 표면조도 및 버 제거 성능을 평가하였다. 자기연마제는 페라이트 분말(Ferrite powder)과 다이아몬드 페이스트(Diamond Paste), 그리고 오일을 적합한 비율로 배합하여 사용하였으며, 페라이트 분말의 입도는 #325, 다이아몬드 연마 입자는 #8,000과 #14,000을 각각 사용하였다. 가공 표면의 품질을 평가하기 위하여 접촉식 표면조도 측정기(SJ-400, Mitutoyo)를 이용하였으며, 마이크로 홀의 미세 버는 광학식 표면형상 측정기를 이용하여 평가하였다.

### 3. 실험결과 및 고찰

#### 3.1 ELID연삭 및 자기연마 표면 비교

진공척 표면의 마이크로 홀은 레이저 가공으로 제작된다. 레이저 가공으로 마이크로 홀을 가공한 후에는 요구 평면도를 얻기 위하여 연삭가공으로 표면을 다듬질하여 마무리하고 있다. 연삭 가공에서 표면조도는 진공척의 평면도와 깊은 상관성을 가진다. Fig. 5는 연삭방식과 슷들입도에 따른 연삭 가공면의 표면조도를 측정된 결과이다. 범용 연삭가공 표면과 ELID연삭가공 표면을 각각 측정하였다. 입도 #200 슷들을 이용한 범용연삭에서는  $0.79\mu\text{m Ry}$ ,  $0.14\mu\text{m Ra}$ 를 얻었다. ELID연삭 가공 표면은 #325 슷들을 이용한 경우,  $0.366\mu\text{m Ry}$ ,  $0.061\mu\text{m Ra}$ , #2,000 슷들의 경우,  $0.322\mu\text{m Ry}$ ,  $0.027\mu\text{m Ra}$ , #2,000 슷들과 초음파 테이블을 이용한 경우,  $0.207\mu\text{m Ry}$ ,  $0.025\mu\text{m Ra}$ 의 표면조도를 각각 얻을 수 있었다. 슷들의 입도가 높아짐에 따라 표면조도는 향상되는 것을 볼 수 있으며, 초음파 테이블을 이용한 ELID연삭에서 최대표면 거칠기(Ry)는 크게 향

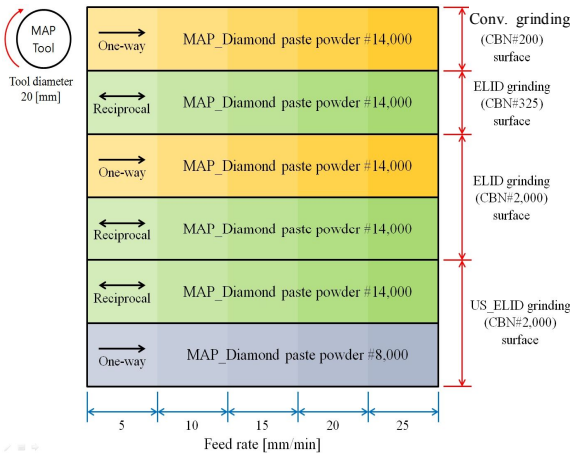


Fig. 4 Schematic diagram of experimental conditions for MAP process

#### 2.2 실험 방법

본 실험은 미세 버로 인한 막힌 홀과 미세 버의 크기에 따른 비율을 평가하고, 각 공정별 버 제거

상되었다. 한편, 연삭 가공 방법에 따라 얻어진 가공표면에 대하여 공구의 이송속도별로 자기연마를 실시하여 표면조도를 비교 평가하였다.

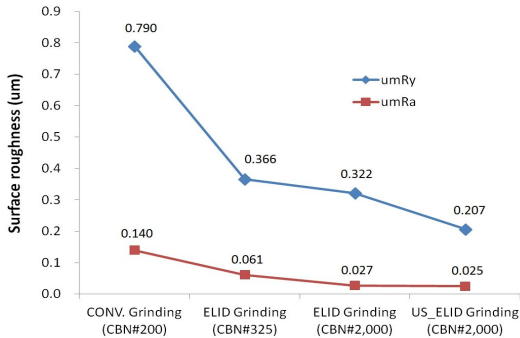


Fig. 5 Comparison of surface roughness by conventional and ELID grinding process

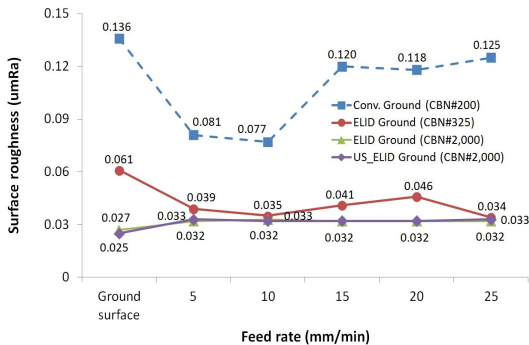


Fig. 6 Comparison of surface roughness, Ra by feed-rate of MAP process

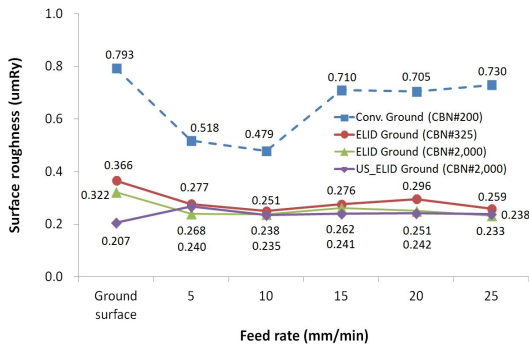


Fig. 7 Comparison of surface roughness, Ry by feed-rate of MAP process

Fig. 6 및 Fig. 7은 각 연삭가공 표면에 대하여 이송속도별로 자기연마를 수행한 후 표면조도를 측정된 결과이다. 입도가 낮은 스톨(#200 및 #325)로 연삭 가공한 표면은 자기연마를 수행한 후 표면조도가 향상되었으나 입도 #2,000 스톨을 이용한 연삭가공 표면인 경우에는 자기연마 후에 표면조도는 약간 높아졌다. 자기연마 공구의 이송속도가 표면조도에 미치는 영향을 살펴보면, 입도가 낮은 스톨(#200 및 #325)로 연삭 가공한 표면의 자기연마에서 공구 이송속도 5~10mm/min일 때 표면조도가 향상되었으며 15mm/min이상에서 표면조도는 다시 악화되는 경향이 나타났다. 따라서 자기연마 실험을 위한 공구의 이송속도는 5~10mm/min에서 적합할 것으로 사료된다.

### 3.2 미세 버(Burr) 제거 효율

앞서 서술한 바와 같이 연삭 가공시 발생하는 미세 버는 마이크로 홀의 흡착성능을 저하시킨다. 마이크로 홀 주위의 미세 버를 확인하기 위하여 광학현미경(IMS-M-345)을 이용하여 관찰하였다. 홀 내부 버의 평가기준은 가공면의 홀 내부에 미세 버가 전혀 관찰되지 않은 홀(Burr-free hole), 미세 버 또는 연삭칩에 의해 완전히 막혀있는 막힌 홀(Blockage hole), 내부에 미세 버가 50%이상 제거되어 진공 흡착 성능에 영향을 주지 않는 유효 홀(Valid hole)로 나누어 전체 홀에서 차지하는 비율을 백분율로 정량화하였다. Fig. 8은 ELID연삭한 시편의 표면을 평가한 결과이다. CBN #2,000스톨로 ELID 연삭 가공하는 경우에 버 제거 성능이 가장 우수하였다. CBN #2,000스톨로 ELID 연삭 가공하는 경우에 유효 홀(Valid hole)이 96%를 차지하였으며, 막힌 홀은 2%에 불과하였다. 입도 #2000 스톨로 초음파 테이블을 이용하여 ELID연삭하는 경우에는, 미세 버가 전혀 없는 홀의 비율이 27%로 가장 높았으나, 50%이상 버로 막혀있는 홀의 비율이 15%로 초음파 테이블을 이용하지 않은 경우(2%)에 비해 크게 높았다. 이것은 연삭 시 발생한 칩이 초음파 진동에 의하여 강제로 홀 속으로 들어가기 때문인 것으로 생각된다. 한편, 자기연마가 미세 버 제거 성능에 미치는 영향을 확인하기 위해 이송속도에 따라 실험하여 비교한 후 Table 3과

같은 조건으로 실험하였다.

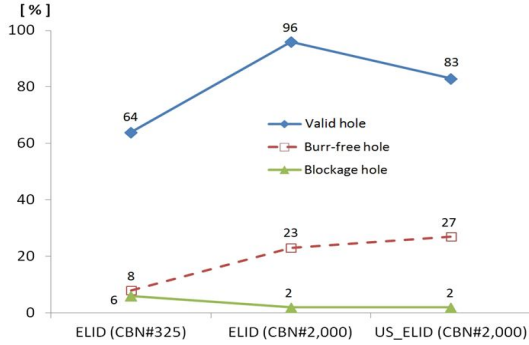


Fig. 8 Micro-burr distribution rate on respective ELID grinding process

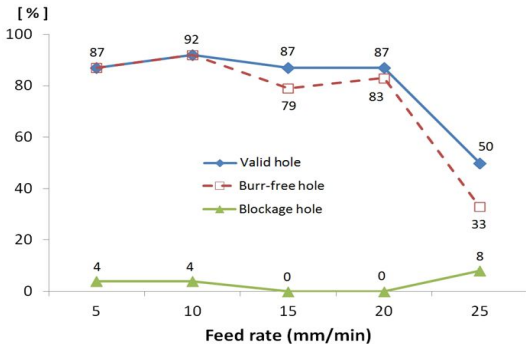


Fig. 9 Micro-burr distribution rate by feed-rate of MAP process

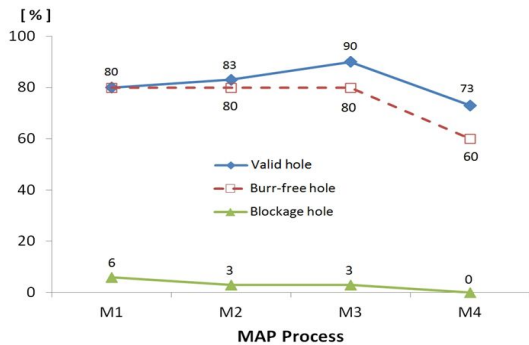
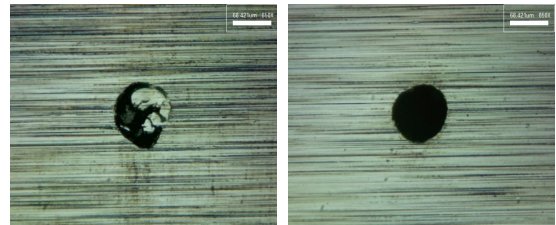


Fig. 10 Micro-burr distribution rate on respective MAP process

Table 3 Condition for MAP experiments

	Tool path direction	Diamond abrasive	Ground surface
M1	One-way	#14,000	ELID(CBN#2,000)
M2	Reciprocal	#14,000	ELID(CBN#2,000)
M3	Reciprocal	#14,000	US_ELID(CBN#2,000)
M4	One-way	#8,000	US_ELID(CBN#2,000)



(a) Burr hole

(b) Burr-free hole

Fig. 11 Micro hole configuration on Vacuum plate surface

Fig. 9는 자기연마 공구의 이송속도에 따른 버 제거 실험 결과를 보여주고 있으며, Fig. 10은 Table 3과 같이 자기연마 슬러리의 입도와 공구이송 방법, 연삭가공 표면의 상태에 따라 자기연마 가공 조건을 설정하여 실험한 결과이다. Fig. 9의 결과를 살펴보면, 자기연마 공구의 이송속도는 10mm/min에서 버 제거 성능이 가장 우수함을 알 수 있으며 이송속도가 증가할수록 버 제거 비율이 감소하는 경향이 나타나고 25mm/min에서는 버 제거 비율이 급격히 감소하였다. Fig. 10의 결과를 살펴보면, 본 실험에서는 슬러리의 다이아몬드 입자의 입도 #14,000을 적용하는 것이 버 제거에 효과적이었다. 그러나 유효 홀이 96%에 달하던 ELID연삭(CBN #2,000) 가공면에 자기연마를 하는 경우에, 버가 전혀 없는 홀의 비율이 23%에서 80%로 크게 높아졌으나 유효 홀의 비율은 오히려 83%로 낮아졌다. 따라서 연삭가공 표면을 자기 연마하는 경우에 버가 전혀 없는 홀의 비율은 크게 향상되었으나, 유효 홀(Valid hole)의 비율은 CBN #2,000을 이용한 ELID연삭 가공면보다 높지 않았다.

#### 4. 결론

MLCC적층에 쓰이는 진공척의 마이크로 홀에 형성되는 미세 버를 제거하기 위하여 ELID연삭 및 자기연마 가공 기술을 응용하여 실험한 결과, 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. 범용연삭 및 ELID연삭으로 진공척을 가공하고 표면조도를 측정된 결과, 슷들의 입도가 높아짐에 따라 표면조도는 향상되었으며, 초음파 테이블을 이용한 ELID연삭 가공표면의 표면조도가 가장 우수하였다.
2. CBN #2,000스틀로 ELID 연삭 가공하는 경우에 미세 버 제거에 가장 효과적임을 확인할 수 있었다. 진공척삭 성능에 영향을 미치지 않는 유효홀(Valid hole)의 비율은 96%를 차지하였으며, 완전히 막힌 홀(Blockage hole)은 2%에 불과하였다.
3. 자기연마 실험 결과, 연삭가공 표면을 자기 연마하는 경우에 버가 전혀 없는 홀의 비율은 크게 향상되었으나, 유효 홀(Valid hole)의 비율은 CBN #2000을 이용한 ELID연삭 가공면이 가장 높았다.

마이크로 홀의 미세 버 제거에 자기연마와 ELID 연삭법을 적용한 결과, 미세 버 제거 및 표면조도가 동시에 향상됨을 확인하였다. 특히, 자기연마는 유연성 있는 공구를 이용하므로 공작물의 형상에 제한 없이 활용이 가능하여 다양한 마이크로 기계 부품의 버 제거가공 및 표면조도 개선에 응용할 수 있을 것이다.

#### 후 기

본 연구는 2014년도 연암공업대학 교비연구비 지원사업 및 경남과학기술대학교 2013년도 기성회 연구비 지원에 의해 수행 되었습니다. 본 연구를 위해 시편을 제공해 준 21세기(주)와 자기연마 실험에 협조해 주신 아스(주)의 관계자 여러분께 감사드립니다.

#### REFERENCES

1. Lee, Y. C., Kwak, T. S., Jung, M. W., Kim, T. G., "Application of Magnetic Assisted Polishing for ELID Ground Surface of Aluminum Oxide Ceramics", Journal of the Korean Society for Precision Engineering, Vol. 30, No. 12, pp. 1259-1264, 2013.
2. Kwak, T. S. and Kwak, J. S., "Magnetic Abrasive Polishing Technology with Ceramic particles", Journal of the Korean Society for Precision Engineering, Vol. 30, No. 12, pp. 1253-1258, 2013.
3. Lee, S. H., Kwak, J. S., "Application and Parameter Optimization of EP-MAP Hybrid Machining for Micro Pattern Deburring", Journal of the Korean Society of Manufacturing Process Engineers, Vol. 12, No. 2, pp. 113-119, 2013.
4. Kim, S. O., Lee, S. H., Kawk, J. S., "A Study on Polishing of Grooved Surface by the Second-Generation Magnetic Abrasive Polishing", The Korean Society of Mechanical Engineers-A, Vol. 35, No. 12, pp. 1641-1646, 2011.
5. Yeo, W. S., Lee, C. S., Chae, S. S., Choi, H., Lee, J. C., "Deburring using Magnetic Abrasive Machining", Journal of the Korean Society of Manufacturing process Engineers, Vol. 5, No. 1, pp. 13-18, 2006.
6. Kwak, T. S., "Machining Properties to Nano-Level Mirror Surface Finishing for Fine Grained WC-Co 18% Alloy using Magnetic Polishing Slurry", Journal of the Korean Ceramic Society, Vol. 46, No. 1, pp. 102~107, 2009.