[논문] 한국소성가공학회지, 제 22 권 제 2 호, 2013
Transactions of Materials Processing, Vol.22, No.2, 2013
http://dx.doi.org/10.5228/KSTP.2013.22.2.80

Micro End-Milling과 MR Fluid Jet Polishing을 이용한 도광판 마이크로 채널 제작

이정원[1] · 하석재[1] · 홍광표[1] · 조명우[#] · 김건희[2] · 윤길상[2] · 제태진[3]

Fabrication of LGP Micro-Channels by Micro End-Milling and MR Fluid Jet Polishing

J. W. Lee, S. J. Ha, K. P. Hong, M. W. Cho, G. H. Kim, G. S. Yoon, T. J. Je
(Received January 10, 2012 / Revised February 13, 2013 / Accepted February 26, 2013)

Abstract

The surface integrity of micro-machined products affects the performance of products significantly. Micro-burrs resulting from micro-cutting degrades the surface quality. Therefore it is desired to eliminate them completely and many studies have been undertaken for this purpose. In this study, micro-end-milling was carried out on nickel alloy and brass materials commercially used for light guide plate mold in 3-D optical devices. After completing this micro-machining, the burr heights were measured with a microscope. Then, deburring was done on the machined edges using the MR jet polishing method. A jet angle of 0° and deburring times of 1, 3, and 5 min. were chosen. It was found that burrs were completely eliminated after 5 min of MR fluid jet polishing.

Key Words : Micro End-Milling, MR Fluid Jet Polishing, MR Fluid, Deburring, Micro Burr

1. 서 론

최근 우주 항공 및 의료산업의 발달로 인하여 고품질, 고정도 부품의 요구가 증가되며, 초정밀 소형화와 더불어 기능성이 강조되는 부품의 수요가 급증하고 있으며 기능성 미세 형상 및 패턴을 가지는 부품의 대량생산이 가능한 마이크로 부품 제작에 대한 수요도 증가하고 있다[1]. 이러한 부품 생산을 위한 마이크로 금형 가공 기술이 필수적인 요소로 대두되고 있으며 이에 따라 기계적인 마이크로 가공[2~5]과 초정밀 부품 표면의 품위 향상에 대한 연구가 활발히 이루어 지고 있다.

특히 도광판 마이크로 채널의 경우 마이크로 절삭가공기술을 통한 금형 제작이 필수적이지만 마이크로 절삭가공 공정은 범용 절삭공정에 비해 공구 크기와 절삭부피가 작고 비 절삭에너지 (specific cutting energy)가 크기 때문에 버 발생 가능성이 더욱 크다[6]. 또한 가공형상 대비 버의 크기가 상대적으로 크기 때문에 가공형상의 재현성 저하에 큰 영향을 미치고 가공형상 보존과 동시에 버의 효율적인 제거가 어렵다. 이에 따라 효율적인 디버링 기법 도입이 상당히 중요하고 이를 위해 연마, 브러쉬 등과 같은 기계적인 방법부터 초음파 및 자기 연마와 같은 방법을 이용한 미세 부품이나 패턴들에 대한 디버링 연구가 진행되고 있다. 그 중 분사를 통한 연마방법 중 MR fluid를

1. 인하대학교 기계공학과
2. 한국생산기술연구원 금형기술연구그룹
3. 한국기계연구원 나노공정연구실
Corresponding Author : Depart. Mechanical Engineering, Inha University, chomwnet@inha.ac.kr

이용한 MR fluid jet polishing 공정은 MR fluid와 연마 슬러리 조성변화에 따라 분사하는 연마공정으로 자기장의 영향으로 분사유체의 점도를 조절하여 연마 공정의 제어 가능한 특징으로 저압력으로 분사되어도 공작물의 가공표면에 충격을 가하여 재료가 제거되며 고품위의 표면거칠기 획득이 가능하다. 본 연구에서는 도광판 마이크로 채널 제작을 위한 금형 재료인 Nickel과 Brass의 micro end-milling 공정을 수행하였으며 가공 후 발생되는 버를 제거하기 위한 디버링 공정을 MR fluid Jet polishing 시스템을 이용하여 분사각도를 0°로 하여 수행하였다. 제작된 마이크로 채널의 가공 특성과 더불어 발생된 버의 재거에 대한 연구를 수행하였다.

2. 도광판 마이크로 채널 제작

마이크로 엔드밀링 공정의 경우 직경 대비 날당 이송량이 매우 크기 때문에 이를 보완하기 위해서는 가공 시 주축의 고속회전이 보장되어야 하며 공구 강성이 약하므로 회전 시 접촉 베어링으로 인한 진동발생으로 공구 파손의 우려가 높기 때문에 본 시스템에서는 최대 100,000rpm까지 가속이 가능한 에어 베어링 타입 고주파 스핀들을 적용하였다. 또한 마이크로 절삭 가공의 경우 외부에서 전달되는 진동의 영향이 매우 크기 때문에 시스템 하부에 아이솔레이터를 적용하였다. 실험을 위한 마이크로 엔드밀은 범용 엔드밀에 비하여 직경 대비 날 길이가 매우 작으며 대부분 초경 재질로 제작되거나, 이와 유사한 특성 확보를 위한 별도 코팅처리를 거친다. 따라서 마이크로 엔드밀은 매우 작은 질량을 가짐으로써 고유 진동수가 매우 높으며 구조적으로 높은 정적 강성을 보유한다.

본 논문에서는 마이크로 채널 제작을 위한 마이크로 엔드밀링을 위해 직경 300㎛인 2날 엔드밀을 실험에 적용하였으며 가공 시편은 내부식성과 내화학성이 우수하여 도광판 금형 재료로 널리 이용되고 있는 Nickel과 Brass (15h×15w×8t)를 사용하였다. Fig. 1과 Fig. 2는 실험을 위한 가공방법과 마이크로 엔드밀을 나타내고 있다. 마이크로 채널 제작을 위한 마이크로 엔드밀링 공정은 20,000rpm의 회전속도와 80mm/min의 이송속도, 30㎛의 가공깊이로 가공하였다. 그 결과 평균 버 높이가 약 48㎛인 버가 발생하였으며 Fig. 3, 4는 마이크로 엔드밀링 가공 후 모서리 부분의 버가 발생한 것을 확인할 수 있다.

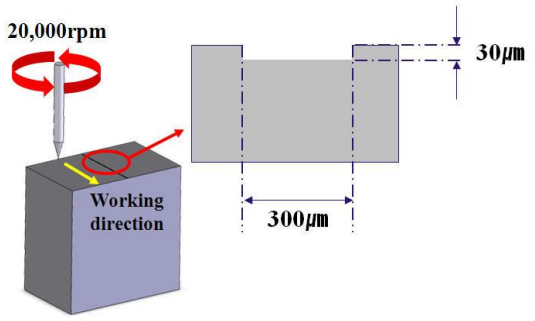


Fig. 1 Schematic of cutting method by micro end-milling

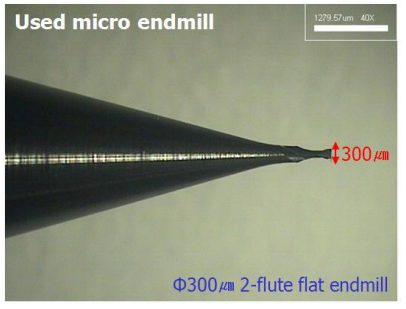
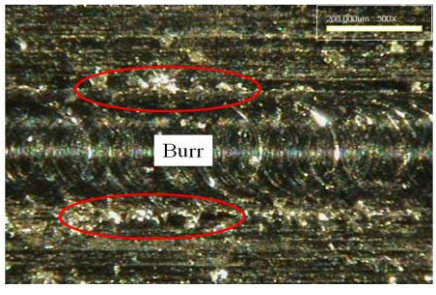
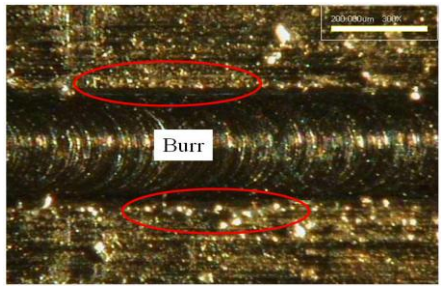


Fig. 2 Magnified image of micro endmill

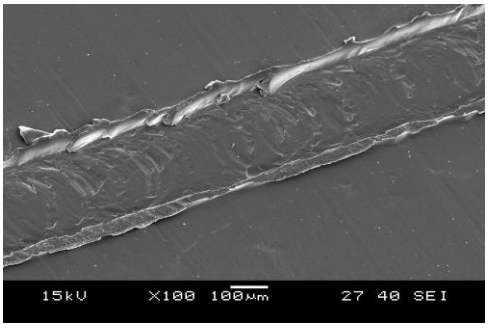


(a) Nickel

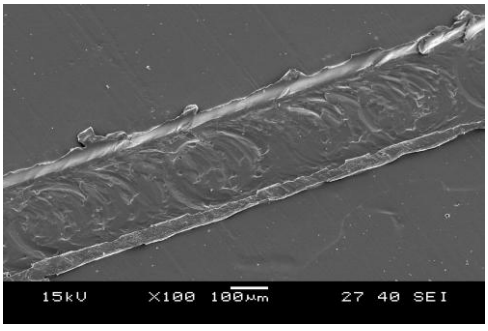


(b) Brass

Fig. 3 Generated burr after micro end-milling



(a) Nickel



(b) Brass

Fig. 4 SEM images of generated burr after micro end-milling

3. MR fluid Jet polishing을 이용한 마이크로 채널 deburring

3.1 MR fluid Jet Polishing

디버링 제거 연구에 사용될 MR fluid jet polishing 공정은 MR fluid의 분사 압력 및 분사 거리, 자기장의 크기에 따른 MR fluid의 점도 특성 변화에 따라 공작물의 재료제거율이 변화되는 메커니즘으로 가공이 이루어지게 된다.[7] MR fluid jet polishing system은 자기장에 민감한 MR fluid가 전류가 인가된 전자석 내부의 노즐을 통하여 분사되며 일반적인 fluid jet polishing과 달리 MR fluid는 노즐 출구부분에서 응집성 유지가 가능하여 저압으로 분사하여도 일정하고 균일한 연마가 가능하다는 장점이 있으며 노즐과 시편 사이의 거리를 나타내는 standoff distance와 무관하게 균일한 연마 결과를 도출할 수 있다. 본 연구에 적용된 MR fluid jet polishing system은 Fig. 5와 같이 MR fluid를 고압 분사 할 수 있는 동력 및 유압시스템으로 구성되어 있으며 MR fluid를 정밀 이송스테이지에 장착된 고압노즐과 전자석 모듈에서 Z-axis에 장착된 재료 chucking 모듈로 아래에서 위쪽 방향으로 분사하는 방식으로 선정하였다.

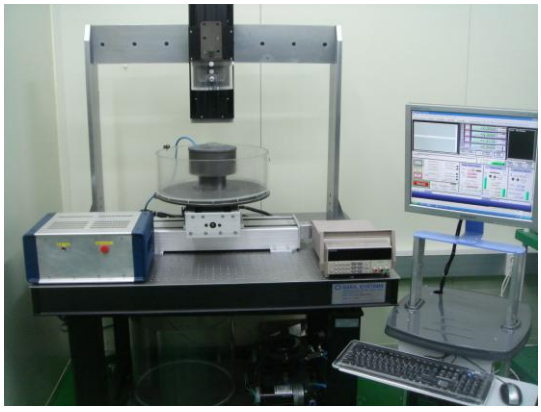
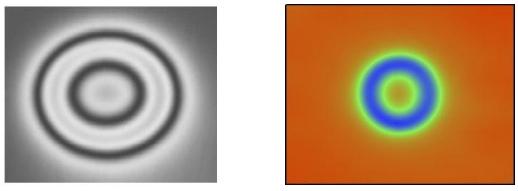


Fig. 5 MR fluid Jet polishing system

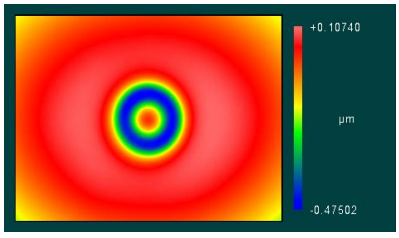


Interferometric view **Circle spot shape**

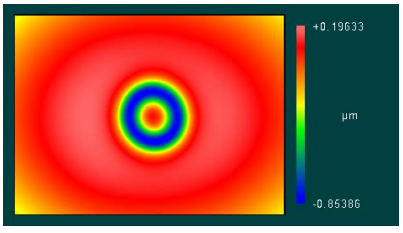
Fig. 6 Measured spot shape and cross-sectional profile according to Jet angle variation

제작된 시스템의 고압 노즐 및 전자석 모듈의 성능을 확인하기 위해 MR fluid의 유동 흐름 분석을 위한 기초 실험을 수행하였다. 그 결과 Fig. 6과 같이 MR fluid가 퍼짐 없이 분사되고 있음을 알 수 있다.

다음으로 분사된 MR fluid에 의해 공작물에 형성되는 spot 형상의 분석을 위한 기초 연마실험을 수행하였다. 노즐과 시편 사이의 거리인 standoff distance는 30mm와 70mm로 설정하였다. MR fluid의 분사각도는 시편 표면에 수직으로 설정하였고, 자기장의 세기는 1500G로 인가하여 5분 동안 연마실험을 수행하였다. 그 결과 Fig. 7과 같이 모두 동심원 형상의 연마 spot이 생성되었으며, spot의 중심을 기준으로 모든 방향으로 연마된 높이가 일정하여 방향에 무관하게 연마가 고르게 진행되었음을 알 수 있다. 또한 Fig. 8처럼 standoff distance가 30mm와 70mm인 경우 연마 spot의 형상과 크기가 거의 동일한 것을 알 수 있으며, 이는 자기장에 의해 분사되는 유체가 퍼짐 없이 매우 양호하게 시편에 도달하고 있다는 것을 확인할 수 있다.



(a) Standoff (30mm)



(b) Standoff (70mm)

Fig. 7 Measured spot shape and cross-sectional profile

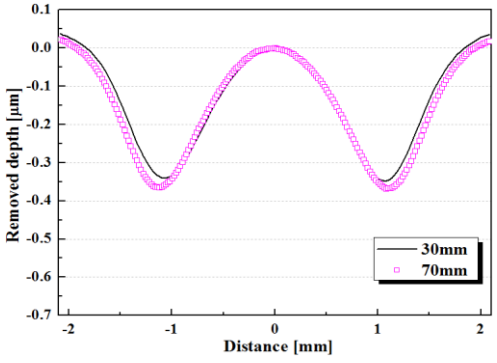


Fig. 8 Schematics of MR fluid jet polishing process according to Jet angle

3.2 Deburring 실험

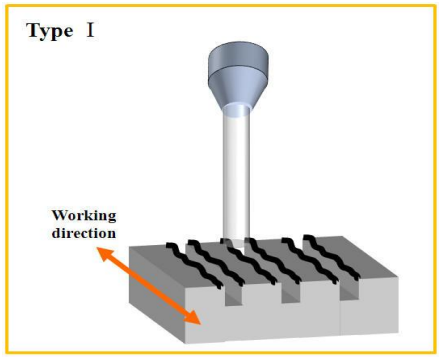
MR fluid jet polishing system을 이용한 디버링 실험을 위해 조성된 MR fluid는 Table 1에 나타내었으며 마이크로 채널이 제작된 가공시편인 Nickel과 Brass의 분사각도와 분사시간에 따른 특성을 분석하기 위해 가공물의 각도를 수직으로 실험을 수행하였으며(Fig. 9), 분사시간을 1분, 3분, 5분으로 변화를 주어 deburring 결과 및 효과를 버 높이 측정을 통해 획득하였다.

3.3 실험결과

마이크로 채널 가공 후 Fig. 10, 11과 같이 발생한 버는 가공이 진행될수록 nickel과 brass 모두 그 크기가 점차 줄어드는 것을 확인 할 수 있으

Table 1 Compositions of MR fluid

CI particle	DI water	Na_2CO_3	Glycerin
65wt%	33wt%	1wt%	1wt%



Type Ⅰ (Jet angel 0°)

Fig. 9 Schematics of MR fluid jet polishing process according to Jet angle

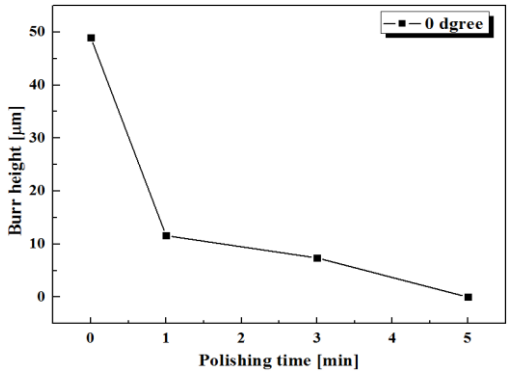


Fig.10 The graph of burr height after MR fluid jet polishing according to jet angle and deburring time (Nickel)

며 분사 시간이 증가됨에 따라 디버링 효과가 더욱 크다는 것을 알 수 있다.

가공시간이 1분 일 때 최초 생성된 버의 높이에 비해 제거되는 버의 크기가 가장 큰 것을 확인하였으며 이는 초기 생성된 버들이 분사되는 MR fluid의 기계적 에너지에 의해 다수 제거되는 것으로 사료된다. Fig. 12와 Fig. 13에서 가공시간 5분 후 버 크기가 현저히 줄어드는 것을 확인할 수 있었는데, 이는 가공시간이 길어질수록 MR fluid의 접촉시간이 증가하여 제거되는 버 제거양도 증가하는 것이다.

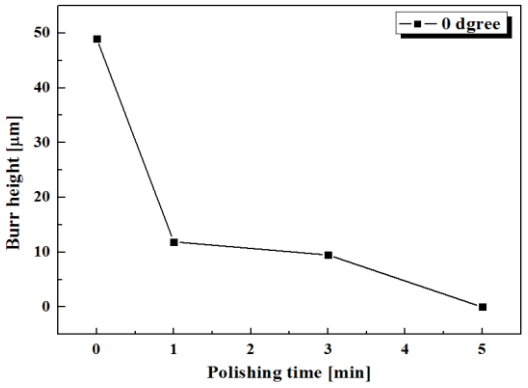
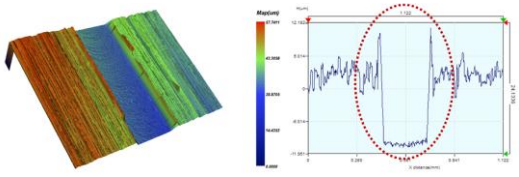
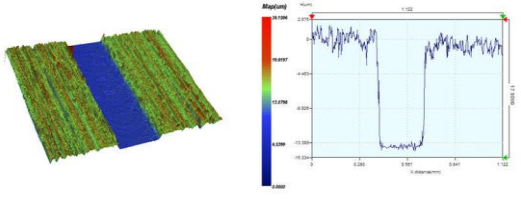


Fig.11 The graph of burr height after MR fluid jet polishing according to jet angle and deburring time (Brass)



(a) Initial burr



(b) Deburring

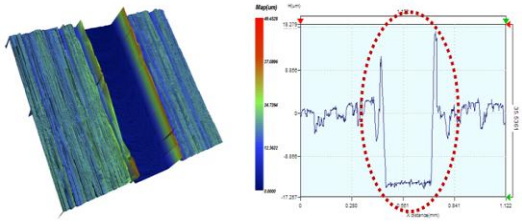
Fig.12 Measured surface profile after MR fluid jet polishing according to polishing time (Nickel)

버 제거율의 관점에서 분석할 때 버는 그 크기가 줄어들수록 모서리 부분에서 생성된 버의 굽힘 모멘트(bending moment)와 인장 응력(tensile stress)이 재료의 항복응력(yield stress)을 초과하지 못하기 때문에 버 제거율은 점차 줄어든다고 할 수 있다.

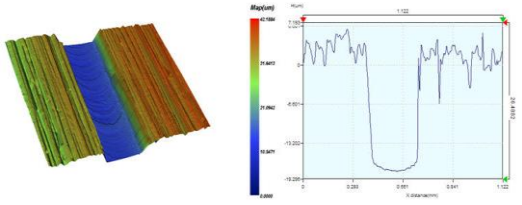
Fig. 14는 최종적으로 5분 가공 후 nickel과 brass의 표면상태를 SEM 이미지를 통해 나타내고 있다. 이를 통해 5분 가공 후 MR fluid jet polishing을 이용한 디버링 효과를 확인 할 수 있다.

4. 결 론

본 논문에서는 도광판의 마이크로 채널제작에

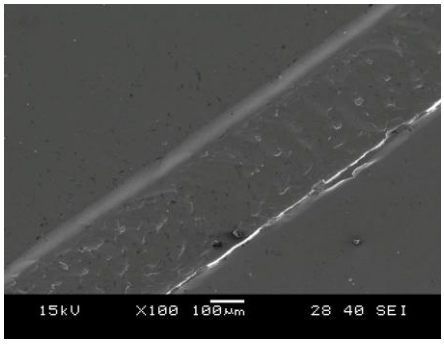


(a) Initial burr

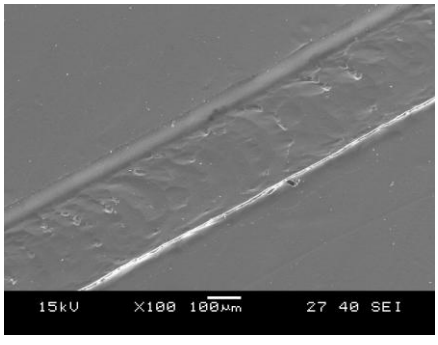


(b) Deburring

Fig.13 Measured surface profile after MR fluid jet polishing according to polishing time (Brass)



(a) Nickel



(b) Brass

Fig.14 SEM images of after MR fluid Jet polishing

서 발생되는 버 제거를 위한 연구로 마이크로 엔드밀링 공정을 통해 마이크로 채널 제작 후 발생

되는 버를 MR fluid jet polishing을 이용하여 제거하여 디버링 특성에 대한 고찰을 수행하였다. 수행된 연구 결과를 요약하면 다음과 같다.

(1) 도광판 마이크로 채널 제작을 위해 마이크로 엔드밀링 공정을 이용하여 마이크로 절삭공정을 수행하였으며 그 결과 마이크로 채널 모서리 부분에 평균 48㎛ 크기의 버가 생성되었다.

(2) 마이크로 채널 모서리 부분의 디버링을 위해 자기장의 크기에 따라 점성 변화가 가능한 MR fluid를 이용한 MR fluid Jet polishing system을 이용하였으며 가공시간에 따른 디버링 효과를 분석하였다.

(3) 초기 1분 동안 버 크기가 대부분 감소하였으며 5분 경과 후 버가 완벽히 제거됨을 확인할 수 있었다. 하지만 버 크기 감소율은 점차 둔화되는 것을 확인할 수 있었다. 이는 버의 크기가 감소할수록 버가 지니고 있는 굽힘모멘트와 인장응력이 재료 고유의 항복응력을 이기지 못하기 때문으로 사료된다.

향후 다양한 재료와 공정조건의 변화를 통해 지속적인 실험을 수행하여 최적 가공 조건을 도출한다면 산업 전분야에 적용이 가능할 것으로 예상된다.

후 기

이 논문은 2009년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국과학재단의 지원을 받아 수행된 연구(No. 2009-0074199)의 일부이며 지식경제부 주관 전략기술개발사업 “마이크로 기능성 초정밀 핵심요소부품 제조기반기술개발”의 제 4세부 “기능성 핵심요소부품 제조 초정밀 금형 기반기술 개발”의 결과로써 이에 감사 드립니다.

참 고 문 헌

[1] G. H. Kim, J. I. Sohn, G. S. Yoon, S. H. Lee, Y. M. Heo, M. Y. Cho, 2009, Proc. Kor. Soc. Manu. Tech. Eng. Autumn Conf.(editor: Jung. J. H) Pusan National University, Pusan, Korea, p. 131.

[2] K. H. Hong, K. H. Kim, S. C. Yang, H. S. Kim, S. G. Lee, M. H. Kook, M. G. Bok, H. T. Kim, H. L. Yang, M. S. Kim, J. H. Won, 2007, Proc. Kor. Soc. Precis. Eng. Spring Conf.(editor: Oh. T. Y), Seoul National University of Science & Technology, Seoul, Korea, p. 303.

[3] G. H. Kim, D. J. Kim, J. I. Sohn, G. S. Yoon, Y, M, Heo, M. W. Cho, 2009, A Basic Study on Burr Formation of Micro Cutting Process with the Ferrous Metal at Low Temperature, Trans. Mater. Process., Vol. 18, No. 2, pp. 166~171.

[4] J. W. Jung, J. G. Kim, T. J. Ko, H. S. Kim, J. K. Park, 2004, Proc. Kor. Soc. Manu. Tech. Eng. Autumn Conf.(editor: Namgung. J. K), Seoul national University of Science & Technology, Seoul, Korea. p. 99.

[5] H. S. Jung, J. M. Kim, M. S. Hong, 2007, Proc. Kor. Soc. Manu. Tech. Eng.(editor: Cho, Y. E), spring conference, Seoul National University of Science & Technology, Seoul, Korea, p. 850.

[6] J. Chae, S. S. Park, T. Feriheit, 2006, Investigation of Micro-cutting Operations, Int. J. Mach. Tool. Manuf., Vol. 46, No. 3, pp. 313~332.

[7] J. W. Lee, S. J. Ha, B. C. Shin, D. W. Kim, M. W. Cho, H. J. Choi, 2012, Characteristics of MR Polishing using Carbonyl Iron Particles Coated with Xanthan Gum, Trans. Mater. Process, Vol. 21, No. 2, pp. 138~143.