

평삭공정에서 경면가공을 위한 단결정 및 다결정 다이아몬드 다중공구의 가공성 평가

김창의^{a,b} · 최환진^b · 전은채^{b,c} · 제태진^{b,c,*} · 강명창^{a,*}

^a부산대학교 하이브리드소재 솔루션 국가핵심연구센터,
^b한국기계연구원 나노공정연구실, ^c과학기술연합대학원 나노메카트로닉스과

Comparison of Machinability Between PCD Tool and SCD Tool for Large Area Mirror Surface Machining Using Multi-tool by Planer

Chang-Eui Kim^{a,b}, Hwan-Jin Choi^b, Eun-Chae Jeon^{b,c}, Tae-Jin Je^{b,c,*}
and Myung-Chang Kang^{a,*}

^aNational Core Research Center for Hybrid Materials Solution, Pusan National University, San 30,
Jangjeon-Dong, Geumjeong-Gu, Busan 609-735, Korea

^bNano Machining Lab., KIMM (Korea Institute of Machinery & Materials), 171 Jang-dong,
Yuseong-gu, Daejeon 305-343, Korea

^cDepartment of Nano-Mechatronics, UST(University of Science and Technology), Daejeon 305-350, Korea
(Received August 20, 2013; Accepted August 23, 2013)

Abstract Mirror surface machining for large area flattening in the display field has a problem such as a tool wear and a increase in machining time due to large area machining. It should be studied to decrease machining time and tool wear. In this paper, multi-tool machining method using a PCD tool and a SCD tool was applied in order to decrease machining time and tool wear. Machining characteristics (cutting force, machined surface and surface roughness) of PCD tool and SCD tool were evaluated in order to apply PCD tool to flattening machining. Based on basic experiments, the PCD/SCD multi-tool method and the SCD single-tool method were compared through surface roughness and machining time for applying large area mold machining.

Keywords : Single-crystal diamond tool, Poly-crystalline diamond tool, Mirror surface, Multi-tool, Surface roughness

1. 서 론

최근 디스플레이 산업이 대형화, 고품질화 되어가며 넓은 가공면적에 높은 표면 정밀도의 미세 패턴 금형 가공 기술의 필요성이 증가하고 있다. 특히 LCD/LED용 대면적 도광판과 같은 미세패턴가공에는 평삭(Planing)에 의한 가공법이 많이 적용되고 있다. 이러한 미세패턴 가공은 평탄화 경면가공을 기반으로 이루어진다[1-5]. 기존의 평삭에 의한 평탄화 경면가공은 고가의 SCD(Single Crystal Diamond) 공구가 많이 소모되는 문제가 발생되고 있다.

이로 인하여 가공시간 증가와 고가의 SCD 공구가 많이 소모되는 문제가 발생하고 있다. 이와 관련하여 Park 등은 알루미늄 합금에 SCD 공구를 이용하여 공구마멸 특성을 연구하였으며[6], Nam 등은 대면적 톨 금형가공을 통해 SCD공구의 마멸 연구를 하였고[7], Kitajima, T. 등은 텅스텐 카바이드에 V형상을 가진 SCD, PCD (Poly Crystalline Diamond) 공구를 사용하여 공구 소재와 형상에 따른 공구 마멸특성을 연구하였다[8]. 특히 40인치급 이상의 대면적 평탄화 경면가공에서는 넓은 가공면적으로 인하여 가공시간이 증가되고 가공거리의 증가로 인한 공구마멸이 주요

*Corresponding Author : Te-Jin Je, Myung-Chang Kang, TEL: +82-45-868-7142, +82-51-510-2361, FAX: +82-42-868-7149, +82-51-510-7396, E-mail: jtj@kimm.re.kr, kangmc@pusan.ac.kr

한 문제가 되고 있다. 이에 따라 가공시간 단축과 공구마멸에 대한 대책이 필요하다.

본 연구에서는 이와 같은 문제점 해결을 위하여 저가의 PCD 공구와 SCD 공구를 병행하는 다중공구가공법을 적용하여 가공시간의 단축과 SCD 공구의 소모를 줄이는 방법을 찾고자 하였다. 세부적인 내용으로서는 PCD 와 SCD 개별 공구의 절삭력, 표면상태 및 표면조도에 따른 가공성 평가를 통하여 PCD 공구의 평탄화 경면가공 적용 가능성을 알아보고, 이를 바탕으로 PCD와 SCD 공구를 동시에 사용하는 방식을 채용 하여 SCD 단일공구를 사용할 때와의 차이점과 가공시간의 단축에 대하여 비교하였다.

2. 실험장치 및 방법

2.1. 초정밀 평판 가공시스템 및 측정장치

그림 1(a)은 본 실험에 사용한 초정밀 평판 가공시스템으로서, X, Y, Z 3축 리니어모터로 구동되며 각 축의 이송 거리는 900×900×100 mm이고 반복정밀도는 0.5 μm이다. 그림 1(b)는 단일공구와 다중공구를 사용할 때의 효과를 비교하기 위하여 제작한 공구장착 지그이다. 다중공구 지그는 공구사이의 거리 및 높낮이 조절이 가능하도록 X축 방향과 Z축 방향으로 최소이송단위 0.5 μm의 정밀 마이크로 메타가 설치되어 있다. 가공시스템의 Z축에는 공구 동력계(Tool dynamometer, Kistler type 9256C2)를 장착하여 가공중의 절삭력과 가공 상태의 변화를 감시하였다. 또

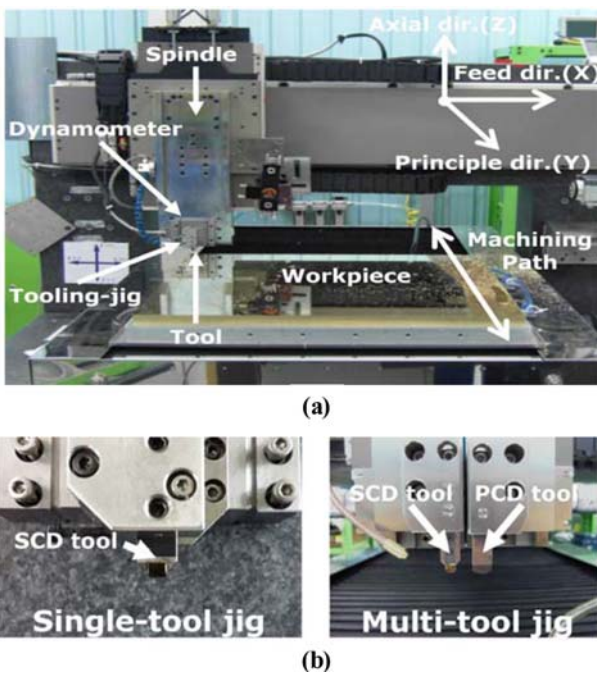


Fig. 1. (a) System set-up for experiment and (b) single/multi-tool jigs.

한 가공표면의 스크래치(scratch)나 버(burr) 등의 미세한 표면 관찰에는 고배율 광학현미경(BX51M, Olympus)이 사용되었고, 가공표면의 거칠기 측정에는 접촉식 표면조도 측정기(PGI 1240, Talor Hobson)가 사용되었다.

2.2. 실험조건 및 방법

표 1은 PCD 공구와 SCD 공구의 가공특성을 비교하기 위한 실험조건을 나타낸 것이며, 표 2는 다중공구를 사용한 가공실험 조건을 나타낸 것이다.

피삭재로 사용된 알루미늄합금(AI7075)은 열 변형이 작고, 가공성이 양호한 특징을 가지고 있어 최근에 디스플레이용 금형소재로 많이 연구되고 있는 소재이다[9]. 실험에 사용된 SCD 공구는 고온 고압에서 합성된 인공 다이아몬드결정을 연마하여 제작된 단결정 공구이며, PCD 공구는 미세한 다이아몬드 입자를 소결하여 제작된 다결정 공구이다[10]. 그림 2는 각 공구의 표면상태를 광학현미경으로 측정된 사진으로서, PCD공구는 소결체이므로 다소 거친

Table 1. Experimental conditions for comparison of machining characteristics with PCD tool and SCD tool

Item	Conditions
Workpiece	AI707 5(50×50 mm)
Cutting tool	PCD/SCD tool(R10)
Cutting speed	200 mm/sec
Feed rate	50 μm/pass
Cutting depth	6, 9, 12, 15 μm

Table 2. Experimental conditions for multi-tool process

Item	Conditions
Workpiece	AI7075 (100×100)
Tool array distance	14 mm
Cutting speed	200 mm/sec
Feed rate	50 μm/pass
Cutting depth	A. Roughing (PCD):10 μm
	B. Finishing (SCD):6 μm
	A.+B. Total depth:16 μm

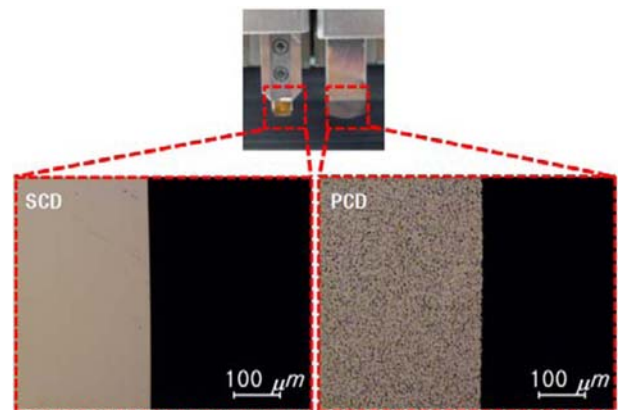


Fig. 2. Comparison of tool surface with SCD and PCD Tool.

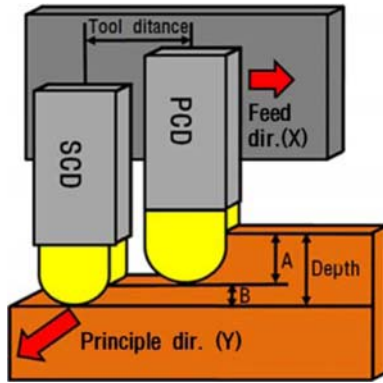


Fig. 3. Schematic of multi-tool machining process.

인선을 가짐을 알 수 있다. 제작된 공구의 사이즈에는 차이가 있으나 각 공구의 형상은 동일한 노우즈 반경(nose radius) R10 mm를 가진다. 절삭속도는 200 mm/sec로 고정하였으며, 각 행정 간의 Feed rate는 50 μm/pass이며, 절삭깊이는 중삭 및 황삭 공정에 해당하는 6, 9, 12, 15 μm으로 선정하였다.

그림 3은 다중공구를 이용한 가공방법을 나타낸 것이다. 초기 공구의 높낮이 셋팅은 동일한 표면상에 두 공구를 일치시킨 후 요구되는 황삭과 정삭의 단차만큼 마이크로미터를 이용하여 조절하였다. 가공은 먼저 PCD 공구로 10 μm 황삭(A) 후 SCD공구로 6 μm 정삭이(B) 될 수 있도록 하였다. 기존의 단일공구 가공은 하나의 공구로 DOC 10 μm 황삭을 수행한 후 다시 가공 원점으로 돌아와 DOC 6 μm만큼 정삭을 하는 방법이었다.

가공성 평가를 위한 절삭력 측정은 X, Y, Z축 방향에 대하여 각각 3회를 실험하여 그 평균값을 적용하였으며, 표면측정용 광학현미경 배율은 x50~500 범위가 적용되었다. 표면조도 측정은 기준길이(cut-off length) 0.8 mm를 적용하여 5회 측정된 값의 평균 거칠기 값(Ra)을 사용하였다. 또한 다중공구 적용의 효율성을 비교하기 위하여 단일 공구 사용 시와 다중 공구사용시의 총 가공시간을 체크하였다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1. PCD와 SCD공구의 경면 가공특성 비교

PCD 공구와 SCD 공구로 각각 경면가공을 수행하며 절삭깊이에 따른 절삭력 측정 결과를 그림 4에 나타내었다. 전체적으로 가공 깊이가 커질수록 절삭력이 증가하는 추세이다. 주 절삭력인 Y축의 경우 PCD공구를 사용할 경우에 SCD공구를 사용한 경우보다 절삭력이 미세하게 높게 측정 되었다. 이는 절삭깊이는 동일하지만 절인부의 날카로움 차이로 인해 발생한 것으로 생각된다.

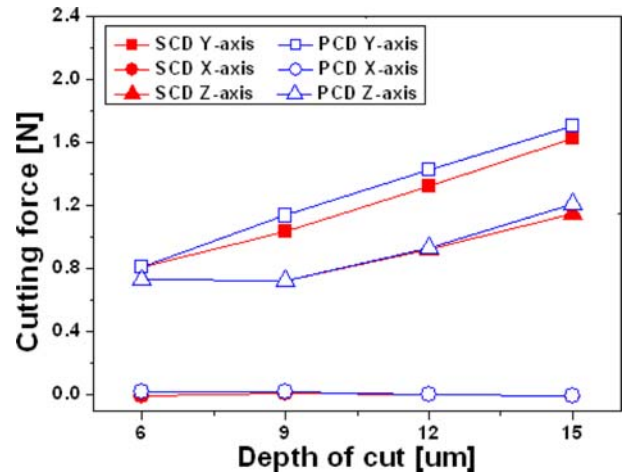
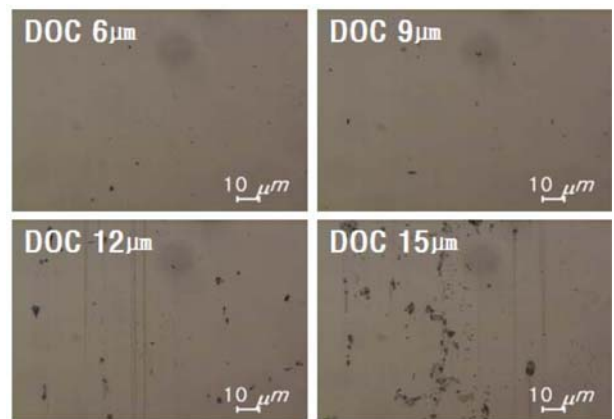
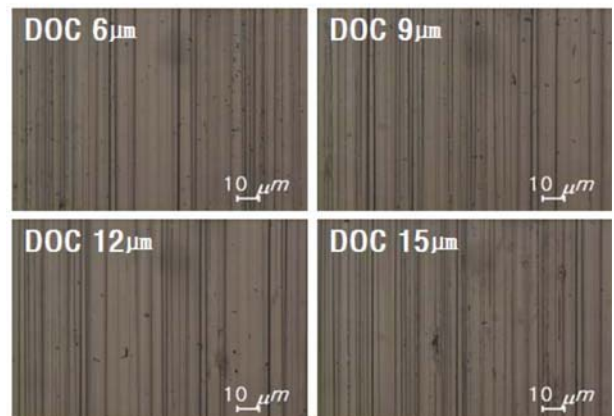


Fig. 4. Comparison of cutting force with SCD and PCD tool.



(a)



(b)

Fig. 5. Optical microscope images of machined surface with (a) SCD tool and (b) PCD tool.

그림 5는 두 공구로 가공된 표면의 광학현미경사진을 공구 및 가공 조건별로 비교하여 나타낸 것이며, 그림 6은 가공된 시편의 표면조도를 측정하여 정리한 것이다. 그림 5(a)는 SCD공구를 사용하여 가공한 것으로서 전체적으로 양호한 경면을 보이지만, 절삭 깊이가 증가함에 따라 미세

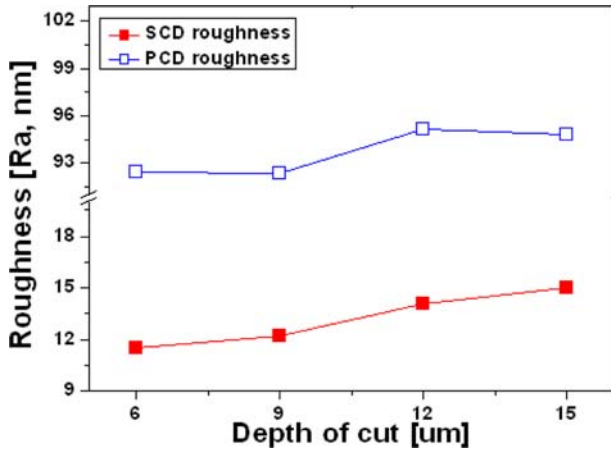


Fig. 6. Comparison of surface roughness with SCD and PCD tool.

한 스크래치가 발생하고 있다. 이때 측정된 표면조도는 대략 12~15 nmRa 수준이었다. 그림 5(b)는 PCD공구를 사용하여 가공한 것으로서 절삭 깊이에 큰 영향 없이 전체적으로 많은 스크래치로 이루어진 거친 표면을 보였다. 이때 측정된 표면조도는 대략 90 nmRa 이상이었다. 이와 같이 가공표면이 거칠게 나타나는 이유는 PCD 공구의 다결정 구조로 인한 약간 거친 절인 특성 때문인 것으로 생각된다. 이를 통해 SCD공구가 PCD공구 보다 우수한 절삭 성능을 가지고 있음을 알 수 있다. 이와 같은 결과를 통하여 PCD 공구로 가공된 표면은 디스플레이 금형에서 요구되는 표면조도 20 nmRa 수준에 도달하지 못하므로 최종 경면의 정삭가공에는 적용이 어려울 것으로 판단된다. 그러나 가공깊이가 증가함에 따라 크게 변하지 않는 표면의 일정함과, SCD공구와 유사한 절삭저항, 표면조도의 변화량 등을 고려할 경우, 평탄화 경면 가공의 황삭 공정에 사용하는 것은 큰 문제가 없을 것으로 예상된다.

3.2. 다중공구의 평탄화 경면 가공특성 평가

PCD와 SCD 다중공구로 절삭 깊이 각 10 µm 및 6 µm 를 적용하여 평탄화 경면가공을 수행하며 측정된 절삭력을 그림 7에 나타내었다. 주 절삭력(Y축)은 약 2.3N 정도로서 두 개의 공구로 동시에 가공하였기 때문에 단일공구로 가공한 경우보다 절삭력이 크게 나타나고 있다. 그림 8(a)는 SCD 단일공구와 PCD와 SCD 다중공구로 평탄화 가공한 표면을 광학 현미경으로 관찰한 것이며, 그림 8(b)는 가공된 표면의 조도를 측정된 것이다. 현미경 관찰 결과로서는 두 경우가 유사한 표면으로 나타났지만, 표면 조도를 비교해 보면 SCD 단일공구를 사용한 경우가 다중공구를 사용하였을 때에 비하여 5 nm 정도 양호하게 가공되었다. 또한 가공표면의 프로파일을 비교해 보면 다중공구 가공표면이 더 큰 굴곡을 보이는 것을 알 수 있다. 이

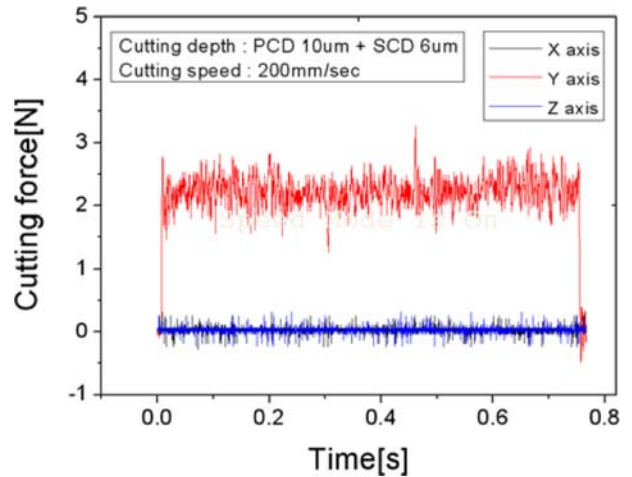
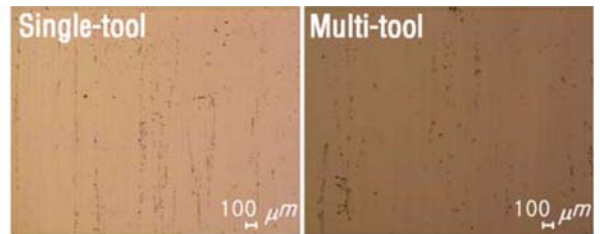
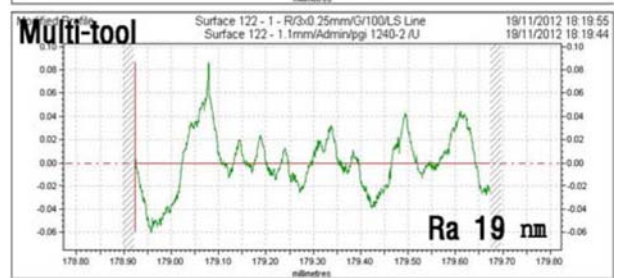
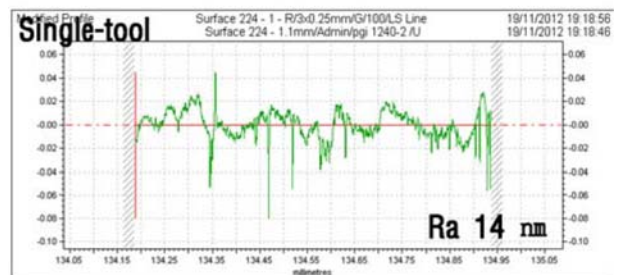


Fig. 7. Comparison of (a) machined shape and (b) surface roughness with single-tool and multi-tool process.



(a)



(b)

Fig. 8. Comparison of (a) machined shape and (b) surface roughness with single-tool and multi-tool process.

는 PCD 공구에 의한 황삭 가공표면이 다소 거칠어서 영향을 준 것과, 두 개의 공구를 동시에 사용함으로 인해 절삭저항이 커져서 발생한 미세한 진동 등이 원인으로 추측된다.

그림 9는 단일공구와 다중공구로 가공할 때의 공정의 거리 및 가공 소요시간을 비교한 것이다. 기존에는 SCD

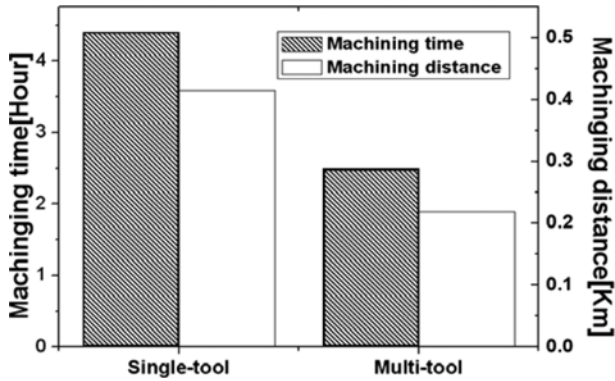


Fig. 9. Comparison of machining time with single-tool and multi-tool.

단일공구를 사용하여 가공 면적 100×100 mm를 이송간격 50 μm으로 1회 황삭가공 하는 데에는 약 2000번의 이송 횟수와 2.2시간의 가공시간이 소요되었고, 정삭가공에도 같은 가공횟수와 가공시간이 소요되어 총 4.4시간의 평탄화 가공시간이 소요되었다. 이에 비하여 PCD와 SCD 다중공구를 사용하여 동일한 방식을 적용한 가공할 경우에는 1회 가공으로 황삭과 정삭이 모두 완료되었고 가공시간은 약 2.5시간이 소요되었다. 이 결과는 두 개의 다중공구를 사용할 경우에 약 43%의 가공시간 단축효과가 있음을 보여준다.

이상과 같은 결과들을 종합해보면 PCD와 SCD 다중공구를 이용할 경우 기존의 SCD 단일공구를 이용한 평탄화 경면가공과 비교하여 표면조도의 미세한 손실은 발생하지만 일반 디스플레이 금형의 표면조도 달성에는 큰 문제가 없는 것으로 나타났다. 또한 가공 공정의 감소로 가공시간을 단축할 수 있고, SCD 공구의 사용 횟수 및 가공거리가 줄어들어 공구수명 향상과 공구소모를 줄이는 효과가 있는 것으로 생각된다.

4. 결 론

본 연구에서는 PCD공구와 SCD공구를 병행 사용하는

다중공구 가공법을 적용하여 평삭에 의한 대면적 평탄의 평탄화 경면가공을 효율적으로 수행하기 위한 연구를 수행하고 다음과 같은 결과를 얻었다.

1. PCD 공구와 SCD 공구의 가공 절삭력은 비슷하지만 PCD 공구를 사용했을 경우가 미세하게 높게 나타났다. 이는 공구의 재질과 인선의 날카로움에 기인한 것으로 생각 된다.

2. PCD 공구의 가공표면은 SCD 공구의 가공표면에 비하여 거칠게 나타나 경면 정삭가공 공정용으로는 부적합 하였으나 황삭가공 공정용으로는 활용이 가능함을 확인하였다.

3. 단일공구를 사용할 때 보다 표면조도의 미세한 손실이 발생하지만, 가공 공정의 감소로 가공시간을 단축할 수 있고, SCD 공구의 사용 횟수 및 가공거리를 줄일 수 있어 공구수명 향상과 공구소모를 줄이는 효과가 있었다.

참고문헌

- [1] T. J. Je, E. C. Jeon, H. J. Choi, E. S. Park and D. S. Choi: KSPE, (2012) 1-6 (*Koeran*).
- [2] M. A. Davies, C. J. Evans, S. R. Patterson, R. Vohra and B. C. Bergner.: Proc. of SPIE, **5183** (2003) 94.
- [3] C. H. Park and C. K. Song: J. KSPE, **22** (2005) 7-15.
- [4] Moriya, T. Nakamoto, K., Ishida, T. and Takeuchi, Y.: CIRP Annals, **59** (2010) 61-66.
- [5] E. S. Park, T. J. Je, E. C. Jeon, H. J. Choi, and J. S. Kim: Ann. fall KSMPE, (2010) 81-82 (*Koeran*).
- [6] E. S. Park, H. J. Choi and T. J. Je.: HYMAP, (2010) 637.
- [7] S. H. Nam, D. Y. Lee, S. H. Hong, Y. J. Choi and S. W. Lee: Ann. spring KSPE, (2008) 453-454 (*Koeran*).
- [8] Kitajima, T. Okuyama and S. Yui. A.: ISAAT, **565** (2012) 517-522.
- [9] E. S. Park, T. J. Je, E. C. Jeon, H. J. Choi and D. S. Choi: Ann. spring KSTP, (2012) 397-400 (*Koeran*).
- [10] J. S. Yun, J. G. Lee, M. K. Lee, C. K. Rhee, M. S. Park and S. J. Hong: J. Korean Powder Metall. Inst., **15**(5) (2008) 378 (*Koeran*).