

자유지립 및 고정지립을 적용한 머신어블 세라믹(Si_3N_4)의 초정밀 래핑 가공 특성에 관한 연구

장진용* (인하대학교 대학원 기계공학과), 이은상, 조명우(인하대학교 기계공학부),
조원승(인하대학교 세라믹 공학과), 이재형(영남대학교 재료공학과)

A Study on The Characteristics of Ultra Precision Lapping of Machinable Ceramic(Si_3N_4)
by Free & Fixed abrasive

J. Y. Chang(Mechanical Eng. Dept. INHA Univ.), E.S. Lee, M.W. Cho(Mechanical Eng. Dept. INHA Univ.),
W.S. Cho(Ceramic Eng. Dept. INHA Univ.), J.H. Lee(Material Science & Eng. Dept. YEUNG NAM Univ.)

ABSTRACT

Machinable Ceramics have some excellent properties as the material for the mechanical components. It is, however, very difficult to grind ceramics with high efficiency because of their high strength, hardness and brittleness. Lapping used diamond slurry and lapping by in-process electrolytic dressing is developed to solve this problem. On this paper, a comparative study of processing ability of lapping used diamond slurry and lapping by in-process electrolytic dressing.

Key Words : Superabrasives metal-comd wheel (초지립 메탈본드 슷돌), In-process Electrolytic Dressing, IED (연속 전해 드레싱), Diamond Slurry (다이아몬드 슬러리), Surface roughness (표면거칠기)

1. 서론

21 세기로 접어들면서 세계는 산업사회 이후에 지식기반 사회라는 새로운 혁명을 준비하고 있으며, 세계의 관심은 정보기술(Information Technology), 나노기술(Nano Technology), 생명기술(Bio Technology)에 집중되고 있다. 특히 당초 반도체 미세기술을 극복하는 대안으로 연구가 시작된 나노기술은 전자와 정보 통신, 기계, 화학, 생명, 에너지 등의 거의 모든 산업에 응용할 수 있어 인류 문명을 획기적으로 바꿀 기술로 떠올랐다.

특히 기계분야에서 나노테크가 가장 시급하게 이루어져야 될 분야가 초정밀 가공이라 할 수 있다. 최근 전자 산업과 광산업의 급진적인 발전과 발맞춰 이러한 관련기기에 필요한 여러 가지 핵심부품의 초정밀가공에 대한 필요성이 증대 되고 있다.

또한 최근 기계가공 분야의 주요 관심은 세라믹스와 반도체 등의 경질재료를 중심으로 가공정밀도 향상에 대하여 어떻게 유효하게 대처하는가 하는 문제점이 대두되고있다. 세라믹은 우주 개발, 원자력 사업, 일렉트로닉스 산업 분야등에 걸친 눈부신 발전을 이루게 되면서 보다 극한적인 환경 조건하

에서도 뛰어난 내열성, 내식성, 기계적 강도, 전자기적 특성을 가지며 치수의 정밀도가 좋은 재료로 각광을 받고 있다. 그러므로 최근 수년 동안 제품의 경도나 경량화, 화학적 안정성 그리고 우수한 내마멸성과 같은 기계적 물성치들의 향상과 관련해 관심이 증가되어 왔다. 그러나 많은 장점에도 불구하고 세라믹재료의 활용은 공작기계 및 가공공정의 한계에 부딪혀 다양한 분야에 적용이 제한되어 왔으며, 이러한 문제를 해결하기 위하여 세라믹스 부품의 가공이 가능한 기술이 공작기계 및 가공분야에서 많이 요구 되는 실정이다.

세라믹은 높은 고온경도 및 내마모성 등의 특성을 가지고 있지만 가공이 어렵다는 단점을 가지고 있다. 그러나 최근 가공기술이 진보하여 다이아몬드에 의한 연삭이 가능하고, 고속도강, 초경합금을 이용하여 절삭 가공이 가능한 세라믹이 개발되었다. 이와 같은 세라믹은 해삭성 세라믹 또는 머신어블(machinable)세라믹이라고 한다.^{1,2}

머신어블 세라믹과 같은 재료는 다이아몬드 자유지립을 이용한 래핑과 고정지립 메탈본드 슷돌(Superabrasives metal-bonded wheel)을 이용한 연속

전해 드레싱 래핑가공으로 이를 해결 할 수 있게 되었다.³⁻⁷

본 연구에서는 다이아몬드 자유지립을 이용한 래핑가공법과 고정지립 메탈본드 슛돌을 이용한 연속전해드레싱 래핑으로 머신어블 세라믹(Si_3N_4)의 가공특성에 관하여 비교 연구하였다.

2. Si_3N_4 -BN 계 세라믹의 특성 및 제조방법

2.1 Si_3N_4 -BN 계 세라믹의 특성

머시너블 세라믹으로서 널리 이용되는 재료는 판상의 BN 입자들의 벽계성을 이용한 질화붕소(BN)- Si_3N_4 계, 운모결정의 벽계성을 이용한 운모-유리 세라믹계등이 있다. Fig. 1 은 Si_3N_4 분말과 Si_3N_4 -BN 분말을 가압소결하였다.



Fig. 1 Si_3N_4 Machinable Ceramics

본 연구에서 실험 할 Si_3N_4 -BN 계 세라믹의 특성은 강도가 크며, 저열팽창 계수를 가지고 있고, 내마모성과 내산화성을 지니고 있다. 그리하여 내마모 용품이나, 정밀기계부품, 자동차용 고효율엔진 부품으로 사용되고 있다.

2.2 Si_3N_4 -BN 계 세라믹 제조방법

Si_3N_4 -BN 은 복합체의 매트릭스 분말로 α - Si_3N_4 (Ube Kosan 사, E-10, α -phase>95%, 평균입자 크기 : $0.17 \mu m$)를 사용하였고, 소결조제로는 Y_2O_3 (Shinetsu chemical 사, 순도 : >99.5%, 평균 입자 크기 : $0.25 \mu m$)와 Al_2O_3 (Sumitomo chemical 사, AKP-30, 순도 : >99.99%, 평균 입자 크기 : $0.39 \mu m$)를 사용하였다. 그리고 첨가 분말로는 질화붕소(BN, 고순도 화학연구소, 순도 : >99%, 평균 입자 크기 : $10 \mu m$)을 사용하였다. α - Si_3N_4 원료분말에 소결조제로서 8mol% Y_2O_3 -6mol% Al_2O_3 를 첨가하고, 질화붕소(BN) 분말을 5~30vol%씩 조성을 변화시켰으며, 결합제(DL-Campor)를 소량 첨가한 후 알루미늄나 포트에서 72 시간 동안 Si_3N_4 Ball(phi 1mm, 250 개)을 사용하여 에틸 알콜 중에서 습식밀링하였다. 습식 밀링 후 분말의 건조에 있어서는 Si_3N_4 와 질화붕소(BN)과의 비중차(Si_3N_4 의 이론밀도 : $3.19g/cm^3$, h-BN 의 이론 밀도 : $2.29g/cm^3$)로 인한

중력 편석을 방지하기 위해, 알콜을 함유하는 혼합 분말을 Fig. 2 에서 보여지는 핫 플레이트와 교반기를 사용하여 균일하게 혼합, 건조한 후 마지막으로 건조로에서 $100^\circ C$, 3h 건조하였다. 건조된 분말은 16mesh 의 체에서 체질하여 1mm 이하의 조립분말을 얻었다. 건조된 분말을 $1800^\circ C$, N_2 분위기에서 2 시간동안 26MPa 의 압력으로 열간가압소결에 의해 소결체(phi6mm, 두께 5mm)를 제조하였다.⁸

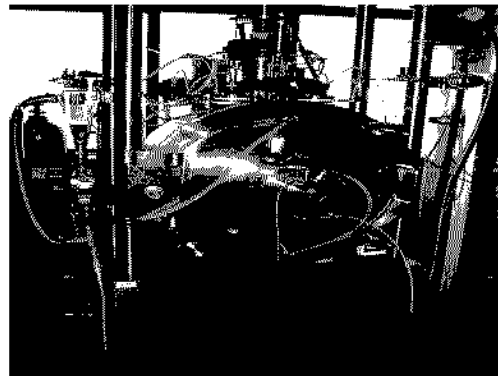


Fig. 2 Hot Press

3. 가공원리 및 실험장치와 방법

3.1 다이아몬드 자유지립을 이용한 래핑

3.1.1 래핑가공 원리

래핑이라 불리는 공구와 공작물의 표면 사이에 슛돌알맹이 또는 기름 등을 혼합한 랩제를 끼워 넣고, 공구와 공작물을 적당한 압력으로 누르면서 상대운동을 시켜 랩제에 의해 공작물 표면의 돌출한 부분이나 부스러기를 제거하여 정밀도가 높은 마무리면을 얻는 가공방법으로 래핑 때의 랩제의 상태에 따라 습식(濕式)·건식(乾式)으로 나뉜다.

랩의 재질로는 일반적으로 주철이 쓰이는데 때로는 연강·구리합금 등의 금속재료 외에 목재(회양목 등의 단단한 나무)·섬유 등도 사용된다. 래핑은 게이지류·광학부품·전자재료의 마무리공정 등에 사용되고 있다.

3.1.2 래핑가공 실험 장치

Fig. 3 은 본 실험에 사용된 Lapping M/C 인 AM TECHNOLOGY 사의 AL-380 Model 로서 크기가 작고 간단한 조작으로 원하는 동작구현이 가능할 래핑/폴리싱머신이다.

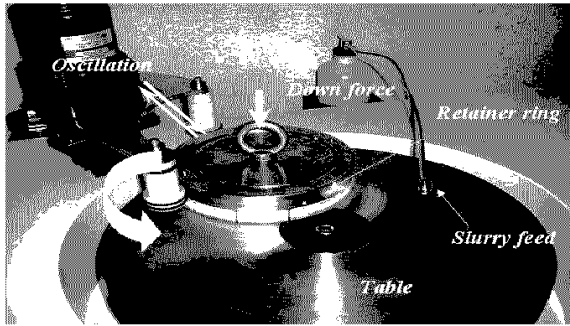


Fig. 3 Photograph of Lapping machine

3.2 고정지립 메탈 본드 슷돌을 이용한 연속 전해드레싱 래핑

3.2.1 연속 전해드레싱 래핑가공의 원리

전도성 전해액에 전류를 인가하여 슷돌의 초지립을 안정적으로 돌출, 가공에 이용할 수 있는 드레싱 방법을 연속 전해 드레싱(In-process Electrolytic Dressing, IED)이라고 한다.

Fig. 4 는 연속 전해 드레싱의 원리를 나타낸 것으로서 미세한 다이아몬드 연마재를 가진 메탈본드 슷돌은 트루잉 작업 후에 Diamond 의 미세입자와 결합재가 평탄화 되어 연마성이 저하된다. ①

그래서 초기 전해 드레싱을 통하여 Diamond 의 미세입자를 돌출 시킨다. ②

이 전해현상에서 래핑 슷돌의 결합재가 용출한 후 빠르게 부도체 피막(수산화철, 산화철 등)에 의한 절연 층이 래핑 슷돌 표면에 형성되어 과도한 용출은 방지된다. ③

그리고 래핑을 시작하면 공작물이 이 부도체 피막과 접촉하여 연마재가 마멸된 분량만큼 피막이 벗겨진다. ④이렇게 되면 피막에 의한 절연이 저하되고 또다시 결합재가 필요한 만큼 용출 되어 연마재의 돌출이 유지된다. ⑤ 연속 전해드레싱을 적용하는 가공의 장점은 자율적인 제어에 의해 연속적인 드레싱에 의한 고능률 초정밀 가공이 가능하다는 것이다.

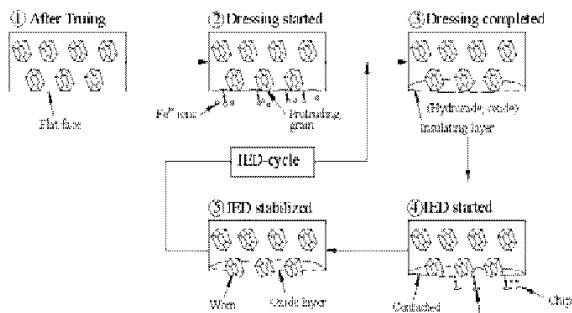


Fig.4 Mechanism of IED lapping⁷

3.2.2 연속 전해드레싱 래핑가공 실험 장치

전원공급 장치의 양극은 흑연 브러쉬를 사용하여 고정지립 메탈 본드 래핑 슷돌에 장착하고, 음극은 순동으로 제작된 전극에 장착하였다. 전극과 래핑 슷돌간의 간격 사이를 전도성 전해액을 통과시켜 전해현상을 발생시킨다.

위와 같은 고정도 고능률 래핑을 위한 연속 전해 드레싱 연삭의 시스템을 구성하기 위해서는 일반적으로 3 가지 부가적인 요소가 갖추어져야 한다.

첫 번째 슷돌은 고정지립 메탈 본드 슷돌의 사용이 필수적인데, 이는 통전이 가능해야 하기 때문이다.

두 번째 전원 공급장치로서 고주파 직류 펄스 전압을 공급하는 전용 전원 장치를 사용하는데, 이는 드레싱량과 부도체 피막 두께의 제어성을 높이기 위함이다. 실험에서 최적의 값을 나타낸 20 μ s 를 사용하였다. 세 번째 래핑을 위해서는 수용성 절삭액을 사용하는 것이 적합하다. 이상과 같은 세 가지 주된 요소 위에 부수적인 요소로서 전극과 브러쉬가 있다. 우선 전극은 주로 동이나 흑연을 사용한다. 그리고 브러쉬는 슷돌 양극 전위를 공급하기 위해서 필요한데 이것은 주로 동판이나 흑연 등으로 만들어진다. 그리고 브러쉬를 부착시킬 때는 소모나 접촉 저항 등을 고려해야 한다. 그리고 공작물을 고정시키기 위해 리테이너와 일정한 가압을 작용시켜, 공작물의 진동을 최소화하고, 표면 거칠기를 향상시키기 위한 지그를 사용한다.

전해액의 안정적인 공급을 위해 필터를 설치하였다. 필터를 설치하지 않을 시, 가공시간이 경과하면서 전해액의 불순물로 인한 원활한 전해 드레싱이 저하되기 때문이다.

다음의 Fig. 5 은 본 실험 전체에서 사용된 시스템의 사진을 나타낸 것이며, Table. 1 은 시스템의 구체적인 사양을 보여주고 있다.

Table. 1 Specifications of In-Process Electrolytic Dressing Lapping System

Lapping Machine	Single-sided Lapping Machine
Lapping Wheel	Cast Iron Bonded Diamond Lapping Wheel(CIB-D) (ϕ 380XW25mm #4000 conc.100)
Power Supply	IEDS Power Supply
Electrolytic	Solution type

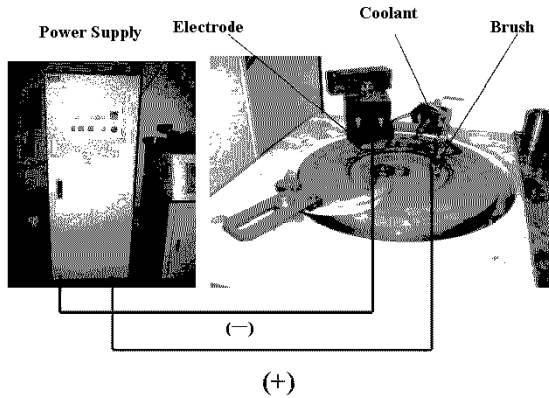


Fig. 5 IED-System

3.3 실험 방법

가공하기전에 미리 시편의 초기 표면거칠기를 한 시편당 Ra 값을 총 9 번 측정하여 평균값으로 하였다.

다이아몬드 자유지립을 이용한 래핑가공방법은 ① 전원스위치와 AIR PUMP, 그리고 Process Time 를 설정하고 Plate Speed 와 Splay Time, 지그의 무게를 결정한다. ② Plate 를 청결하게 닦아 준 후, Plate 를 천천히 회전시키며 다이아몬드 자유지립을 골고루 뿌려준다. ③ 재료를 지그에 고정하고 자동 운전으로 전환하여 운전버튼을 눌러 가공한다. ④ 각각 5분씩 4 번(총 20분) 가공 실험을 하였다.

고정지립 메탈 본드 스톨을 이용한 연속전헤드레싱 래핑가공에서는 ① 간극게이지(Gap gage)를 사용하여 0.4mm 을 유지시킨 후 전해 수용성 절삭액을 이용하였다. ② 펄스유지, 휴지 시간($\tau_{on/off}$)을 $10\mu s$ 의 상태에서 Fig. 6 과 같이 스톨 표면에 절연 피막을 형성하기 위해 초기 전헤드레싱을 실시 하였다. ③ 초기 전헤드레싱 종료 후 각각의 재료를 5분 간격으로 4 번씩(총 20분) 가공 실험을 하였다.

4. 실험 결과 및 고찰

4.1 시간에 따른 가공성 비교

시간이 경과함에 따라 가공성을 평가하기 위하여 가공시간을 5분, 10분, 15분, 20분으로 하여 가공한 후 표면 거칠기를 측정하였다. Fig. 7 과 Fig. 8 은 다이아몬드 자유지립을 이용한 래핑 가공과 고정지립 연속전헤드레싱 스톨을 적용한 래핑가공 후 각각의 시간마다 표면거칠기의 변화를 나타낸 것이다.

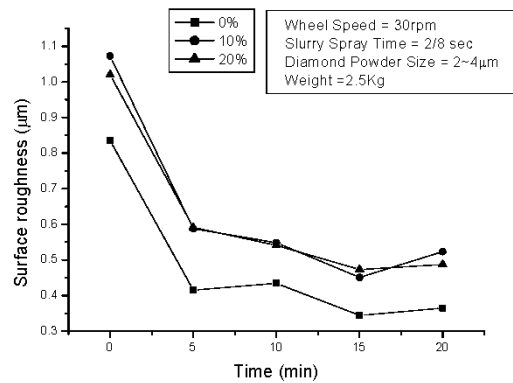


Fig. 7 Relationship between surface roughness and lapping time (With Diamond Slurry)

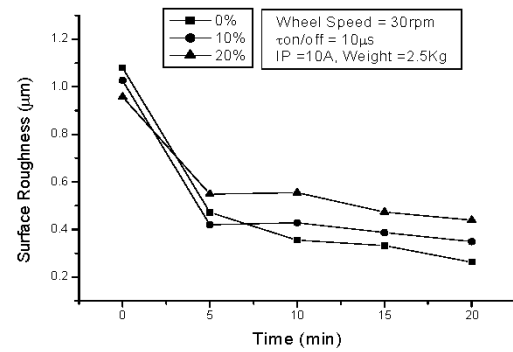


Fig. 8 Relationship between surface roughness and lapping time (With IED)

질화붕소(BN)의 함유량에 따라 모든 가공에서 거칠기 값이 높아지는 경향이 나타났다. 이러한 원인으로서는 Si_3N_4 -BN 계 머신어블 세라믹의 3점 굽힘강도가 Si_3N_4 일체식 구조의 경우 약 1GPa 로서 높은 강도를 나타내었으나, 질화붕소(BN) 함유량이 증가할 수록 감소한다. 경도와 파괴인성도 질화붕소(BN) 함유량이 증가할 수록 감소하는 경향을 보였다.

또한, 다이아몬드 자유지립을 이용한 래핑에서는 가공시간이 10분에서 15분정도 가공했을때 가장 좋은 표면 거칠기 값을 나타내었고, 그 이상 가공시에는 표면거칠기가 오히려 더 안 좋아지는 경향을 보였다. 그러나 고정지립 연속전헤드레싱 스톨을 이용한 래핑에서는 시간이 지날수록 표면거칠기 값이 향상되는 것을 알 수 있었다.

4.2 지그 무게에 따른 가공성 비교

지그의 무게에 따른 가공성을 평가하기 위하여 가공시간을 5분, 10분, 15분, 20분으로 하여 가공한 후 표면 거칠기를 측정하였다. Fig. 9 와 Fig. 10 은

다이아몬드 자유지립을 이용한 래핑 가공과 고정지립 연속전해드레싱 스톨을 적용한 래핑가공 후 각각의 시간마다 표면거칠기의 변화를 나타낸 것이다.

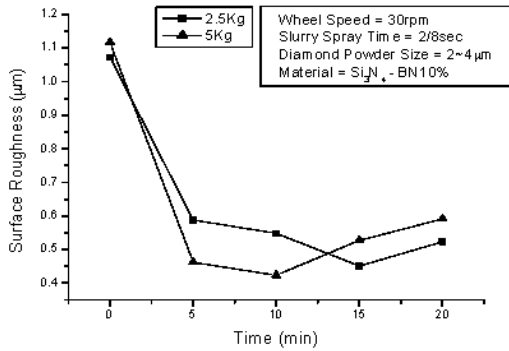


Fig. 9 Relationship between surface roughness and Weight (With Diamond Slurry)

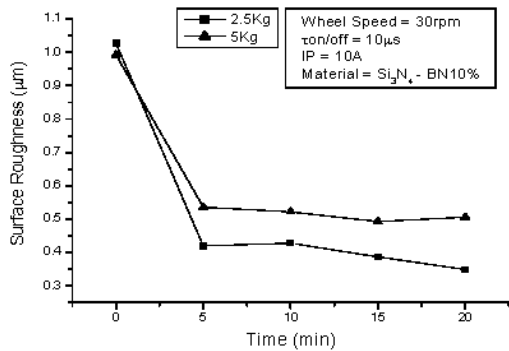
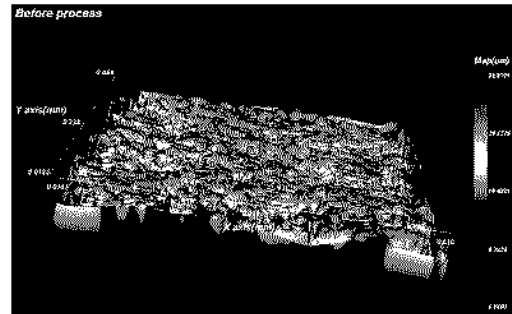


Fig. 10 Relationship between surface roughness and Weight (With IED)

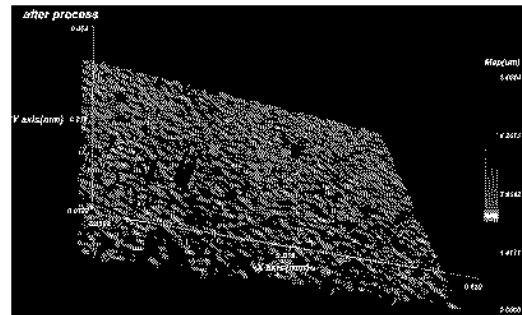
지그의 무게에 따른 다이아몬드 자유지립을 이용한 가공에서는 가벼운 지그를 얻었을 경우 시간이 지남에 따라 큰 변화가 없지만, 무거운 지그를 올렸을 경우에는 시간이 지남에 따라 더욱 더 빨리 표면 거칠기가 안 좋아지는 경향을 보였다.

고정지립 연속전해드레싱 스톨을 이용한 래핑가공에서는 무거운 지그일수록 거칠기값이 안 좋아지는 경향을 보였다. 이는 무거운 지그일수록 표면 절연막이 파괴되어 표출되는 입자가 커져 표면거칠기가 나빠지는 것을 알 수 있었다.

Fig. 11 은 3 차원 비접촉식 미세형상측정기를 이용하여 $Si_3N_4 - BN10\%$ 시편 가공전, 후의 경면을 나타내고 있다. a)는 가공전이며, b)는 15 분 가공 후의 경면을 나타내고 있다.



a) Before lapping



b) After lapping

Fig. 11 Comparison of surface clarity ($Si_3N_4 - BN10\%$)

5. 결론

본 연구에서는 다이아몬드 자유지립을 이용한 래핑과 고정지립 연속 전해드레싱 스톨을 적용한 래핑으로 세라믹 재료(Si_3N_4)의 초정밀 래핑 가공에서 가공시간과 지그의 무게에 따른 표면거칠기 값과 고찰을 통하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) 다이아몬드 자유지립을 이용한 래핑은 시간이 경과함에 따라서 표면거칠기가 나빠지는 경향을 보였으나, 고정지립 연속 전해드레싱 스톨을 적용한 래핑에서는 시간이 경과함에 따라서 표면거칠기가 계속 양호해지는 경향을 보였다.

(2) 고정지립 연속 전해드레싱을 적용한 래핑에서 가공물에 가하는 하중은 적정선 이상으로 가압하였을 경우 표면거칠기가 나빠지는 경향을 보였다. 이는 무거운 지그일수록 표면 절연막이 파괴되어 표출되는 입자가 커져 표면거칠기를 더욱 나빠지게 하는 원인으로 사료된다. 다이아몬드 자유지립을 이용한 래핑에서는 가하는 하중이 높으면 표면거칠기가 보다 빠르게 나빠지는 것을 알 수 있었다.

(3) 질화붕소의 함유량에 따른 가공성 비교에서는 질화붕소의 함유량이 높을수록 가공시 표면거칠기가 나빠지는 경향을 보였다. 질화붕소(BN)의 증가는 래핑가공시 미세 균열에 기인한다.

후기

본 연구는 한국과학재단 목적기초연구(R01-

2001-000-00257-0)지원으로 수행되었으며, 관계자 여러분께 감사 드립니다.

참고문헌

1. 김승현, 조원승, 조명우, 이은상, 이재형 "열간가압 소결에 의해 제조한 Si_3N_4 -BN 계 기계가공성 세라믹스의 기계적 성질", 세라믹 학회 춘계총회 및 연구발표회 초록집, 193, 2002.Hans H. Gatzten and J. Chris Maetzig "nano grinding" Precision Engineering, pp 134-139, 1997.
2. 이길우, 김순태, "세라믹스의 절삭거동에 관한 실험적 연구", 한국요업학회지, 30(5), 420-426, 1993.
3. Hans H. Gatzten and J. Chris Maetzig "nano grinding" Precision Engineering, pp 134-139, 1997.
4. Dominic S. "Development of a new lapping method for high precision ball screw-feasibility study of a prototyped lapping tool for automatic lapping process " Precision Engineering Vol. 25, pp63-69, 2001.
5. E.S.LEE, J.D.Kim "A Study on the Analysis of grinding Mechanism and Development of Dressing System by using Optimum In-Process electrolytic Dressing", Int.J.Mach. Tools. Manufact. 37(12), 1673 - 1681, 1997.
6. Chen, C, Sakai, S, and Inasaki, "lapping advance ceramics"materials manufact proc, 6, pp211-226, 1991.
7. 원종구, 이은상, "연속전해드레싱을 적용한 머신어블 세라믹의 초정밀 가공", 한국정밀공학회 추계학술대회, pp.223-226, 2002.
8. Pearson Education Korea, "Ceramics Raw materials", 383-390, 1996.
9. Kyusijin, A and Inada, H "lapping High precision PolygonalShafts", precision Engineering(U.K.), Vol. 6, No. 1, pp3-8, jan1984.
10. Kyusojin, A et al. "development of the Lap for correctionCylindrical Shafts", Bulletin of the japan Society of PrecisionEngineering Vol. 14, No. 2, pp97-102, June 1980.
11. Dominic S. "Development of a new lapping method for highprecision ball screw-feasibility study of a prototyped lapping tool forautomatic lapping process " Precision Engineering Vol. 25, pp63-69, 2001.