

연속전해드레싱을 적용한 머신어블 세라믹의 초정밀 래핑 가공

원종구⁺, 이은상^{*}

(논문접수일 2002. 12. 2, 심사완료일 2003. 4. 2)

Ultra Precision Lapping of Machinable Ceramic by In-process Electrolytic Dressing

Jong Goo Won⁺, Eun Sang Lee^{*}

Abstract

In-process Electrolytic Dressing is a lapping method using electrolysis. This technology provides dressing to CIB-Diamond Lapping wheels during the lapping process for continuous protrude abrasive from super-abrasive wheels. so loading and glazing are disappeared apparently. Ultra-precision lapping of the machinable ceramics will be studied in the viewpoint of In-process Electrolytic Dressing. For ultra-precision lapping, need to develop an ultra-precision lapping system, suitable metal bonded diamond wheel, and appropriate condition of ultra-precision lapping machining.

Key Words : Machinable Ceramic(머신어블 세라믹), In-process Electrolytic Dressing(연속 전해 드레싱), Ultra-precision Lapping(초정밀 래핑)

1. 서론

세라믹은 내식성, 내마멸성등의 특성을 가지고 있으며, 전기기기, 생체, 광학등에 적용할 수 있어, 그 사용범위가 증가하고 있으나, 가공이 어렵다는 단점을 가지고 있다. 하지만 공작기계와 고속도강, 초경합금을 이용하여 절삭가공이 가능한 세라믹이 개발되었다⁽¹⁾. 이와 같은 세라믹은 머신어블 세라믹 또는 쾌삭성 세라믹이라고 불리어지고 있다. 머신어블 세라믹으로서 널리 이용되는 재료는 질화붕소

(BN) 입자들의 벽계성을 이용한 질화붕소(BN)-세라믹(Si_3N_4 , AlN)계, 운모 결정의 벽계성을 이용한 운모-유리 세라믹계등이 있다⁽²⁾.

질화붕소(BN)-세라믹(Si_3N_4 , AlN)계 복합재료는 운모계 결정화유리에 비하여 내열성, 강도 및 열전도성 등이 우수하여 용융금속 처리용 치구 등에 응용되고 있다⁽³⁾.

AlN-BN계 세라믹스는 우수한 특성을 갖는 질화알루미늄에 열팽창이 작고 열전도율이 높아 열충격 저항성이 우수하며 판상입자이면서 흑연과 같은 육각망면구조의 2층 주기

⁺ 인하대학교 기계공학과 대학원

^{*} 주저자, 인하대학교 기계공학과 (leees@inha.ac.kr)

주소: 402-751 인천시 남구 용현동 253

구조로 벽개성을 갖는 질화붕소(BN)을 혼합하여 제조한 것으로, 이렇게 제조한 AlN-BN계 세라믹스는 질화붕소(BN) 벽개면을 따라 균열이 전파되어 절삭가공에 있어 매우 용이하게 되는 것으로 알려지고 있다⁽⁴⁾⁽⁵⁾.

머신어블 세라믹과 같은 특성을 나타내는 재료는 래핑 가공 시 초지립 메탈 본드 슯돌(Super-abrasives metal-bonded wheel)의 이용이 필수적으로 요구되어지고 있다. 하지만, 이러한 재료를 초지립 메탈 본드 슯돌로 가공할 경우 눈매움, 날무디어짐 현상에 의해 드레싱이 요구된다. 이에 최근 전기분해원리를 적용한 연속 전해 드레싱 기술이 개발되었다⁽⁶⁾.

이 가공법은 연삭과 래핑의 장점만을 합한 방법으로써 일정한 정압을 이용하여 슯돌의 평탄도와 표면 거칠기를 공작물에 전사시키는 래핑 가공법과 빠른 시간 안에 공작물을 제거하는 연삭의 가공법을 복합한 가공 방법이다.

본 연구에서는 연속 전해 드레싱 기법을 적용하여 머신어블 세라믹에 대한 시간과 속도에 따른 표면 거칠기 변화를 연구하였다.

2. 연속 전해 드레싱의 원리

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

Fig. 1은 연속 전해 드레싱의 원리를 나타낸 것으로서 미세한 다이아몬드 연마재를 가진 메탈본드 슯돌은 트루잉 작업 후에 Diamond의 미세입자와 결합제가 평탄화 되어 연마성이 저하된다.①

그래서 초기 전해 드레싱을 통하여 Diamond의 미세입자를 돌출 시킨다.②

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

그리고 래핑을 시작하면 공작물이 이 부도체 피막과 접촉하여 연마재가 마멸된 분량만큼 피막이 벗겨진다.④

이렇게 되면 피막에 의한 절연이 저하되고 또다시 결합제가 필요한 만큼 용출 되어 연마재의 돌출이 유지된다.⑤ 연속 전해드레싱을 적용하는 가공의 장점은 자율적인 제어에 의해 연속적인 드레싱에 의한 고능률 초정밀 가공이 가능하다는 것이다.

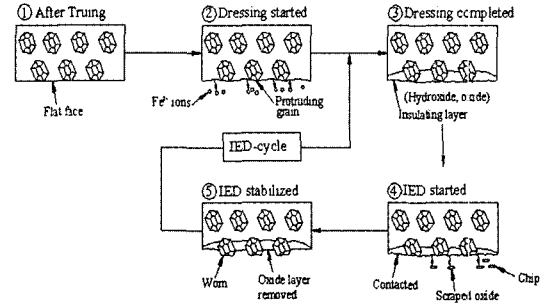


Fig. 1 Mechanism of IED lapping

3. 실험 장치, 방법 및 재료

3.1 래핑 슯돌의 제조 과정

래핑을 위한 전해 드레싱용 메탈 본드 슯돌을 제작하기 위해서는 금속 분말의 결합제, 연마입자인 다이아몬드 그리고 IED 현상을 발생시키기 위한 기계-화학적 작용의 입자가 필요하다. 세가지 분말을 함께 섞은 후 금형에 충전시킨다. 그런 후 핫프레스기에 금형을 넣고 750℃, 2ton/cm²로 가압 성형하여 소결 시킨다.

소결방식에는 상온에서 고압으로 성형 후 노에서 고온으로 소결하는 방식과 고온, 고압을 동시에 주는 핫프레스 방식이 있으며 핫프레스 방식의 장점은 빠른 시간에 슯돌을 제작할 수 있으며 냉간 성형 방식보다 고온에 다이아몬드가 노출되는 시간이 적어 산화되는 것을 막을 수 있다. 이렇게 제작되어진 지석을 전도성 본드를 이용하여 슯돌몸체에 부착시킨 후 드레싱을 하여 완성하였다. Fig. 2는 연속 전해 드레싱용 래핑 지석을 나타내고 있다. Fig. 3은 전체적인 제조과정의 사진이다.

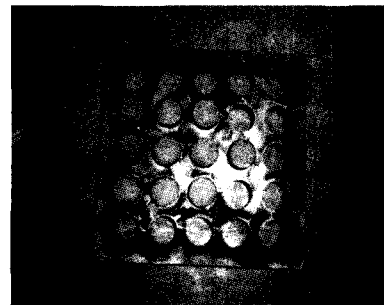


Fig. 2 Metal bonded diamond pellet

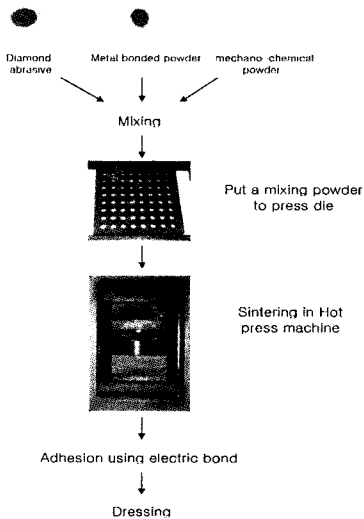


Fig. 3 Manufacturing process of metal bonded diamond wheel

3.2 실험 장치

전원공급 장치의 양극은 흑연 브러시를 사용 하여 초지립 메탈 본드 래핑 슯돌에 장착하고, 음극은 순동으로 제작된 전극에 장착하였다. 전극과 래핑 슯돌간의 간격 사이를 전도성 전해액을 통과 시켜 전해현상을 발생시킨다.

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

첫 번째, 슯돌은 메탈 본드 슯돌의 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 s를 사용하였다. 세 번째, 래핑을 위해서는 수용성 절삭액을 사용하는 것이 적합하다. 이상과 같은 세가지 주된 요소 위에 부수적인 요소로서 전극과 브러시가 있다. 우선 전극은 주로 동이나 흑연을 사용한다. 그리고 브러시는 슯돌 양극 전위를 공급하기 위해서 필요한데 이것은 주로 동판이나 흑연 등으로 만들어진다. 그리고 브러시를 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. 필터

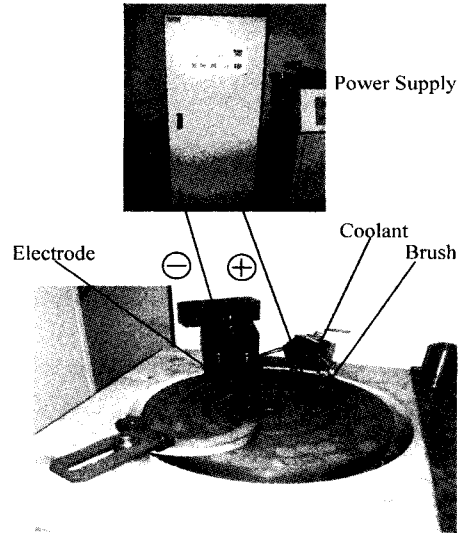


Fig. 4 IED-System

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) (\varnothing 380 X W25mm #4000 conc.100)
Power Supply	IEDS Power Supply
Electrolytic Fluid	Solution type
Workpiece	Machinable Ceramic (Si ₃ N ₄ , 0%, 10%, 20%, 30%)

를 설치하지 않을 시, 가공시간이 경과하면서 전해액의 불순물로 인한 원활한 전해 드레싱이 저하되기 때문이다.

다음의 Fig. 4는 본 실험 전체에서 사용된 시스템의 사진을 나타낸 것이며, Table 1은 시스템의 구체적인 사양을 보여주고 있다.

3.3 실험 방법

본 실험에서는 전극과 슯돌의 간격은 간극 게이지(Gap gage)를 사용하여 0.4mm를 유지시켰으며, 전해 수용성 절삭액을 사용하였고, 피크전류(Ip)를 25A, 펄스 유지, 휴지 시간($t_{on/off}$)을 20 μ s의 상태에서 슯돌 표면에 절연 피막을 형성하기 위해 초기 전해드레싱을 실시하였고, 공작물을

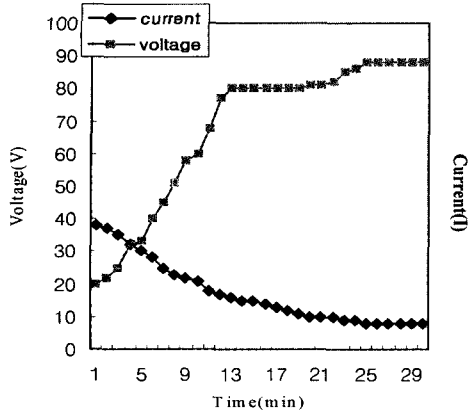
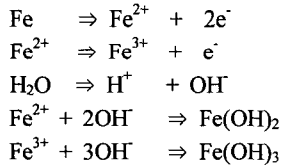


Fig. 5 Electrical behavior of pre-dressing

2.5Kg으로 가압한다.

초기 전해 드레싱이 진행되는 동안 결합제인 Fe는 Fe²⁺ 또는 Fe³⁺로 이온화되고, 전기 화학적인 현상으로부터 다음과 같은 화학반응에 의해서 수산화물인 Fe(OH)₂ 또는 Fe(OH)₃로 된다.



이러한 수산화물은 전해 작용에 의해 절연물인 Fe₂O₃ 산화물로 변해 래핑 스톱 표면에 부착된다.

Fig. 5는 초기 전해 드레싱의 현상을 나타내고 있는 것으로 이러한 반응들이 스톱들이 전극을 지나갈 때마다 연속적으로 일어나면 스톱들의 표면은 절연물의 증가로 인해 전기 전도도가 감소하게 되며 전류가 하강(25A 에서 10 A)하고 전압은 상승하게 된다.

초기 전해 드레싱 종료 후 각각의 재료를 5분 간격으로 가공 후 표면 거칠기를 측정하였다.

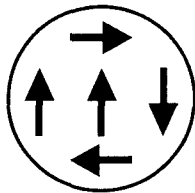


Fig. 6 Measurement of surface roughness

Fig. 6 의 화살표와 같이 한 시편 당 5회 측정을 실시하였다.

3.4 실험 재료

Si₃N₄-BN은 복합체의 매트릭스 분말로 α-Si₃N₄(Ube Kosan사, E-10, α-phase >95%, 평균 입자 크기 : 0.17μm)를 사용하였고, 소결조제로는 Y₂O₃ (Shinetsu chemical사, 순도 : >99.5%, 평균 입자 크기 : 0.25μm)와 Al₂O₃ (Sumitomo chemical사, AKP-30, 순도 : >99.99%, 평균 입자 크기 : 0.39μm)를 사용하였다. 그리고 첨가 분말로는 질화붕소(BN, 고순도 화학연구소, 순도 : >99%, 평균 입자 크기 : 10μm)를 사용하였다. α-Si₃N₄ 원료분말에 소결조제로서 8mol% Y₂O₃-6mol%Al₂O₃를 첨가하고, 질화붕소(BN) 분말을 5~30vol%씩 조성을 변화시켰으며, 결합제(DL-Campor)를 소량 첨가한 후 알루미늄 포트에서 72 시간 동안 Si₃N₄ ball(φ 1mm, 250개)을 사용하여 에틸알콜 중에서 습식 밀링하였다. 습식 밀링 후 분말의 건조에 있어서는 Si₃N₄와 질화붕소(BN)과의 비중차(Si₃N₄의 이론 밀도; 3.19g/cm³, h-BN의 이론 밀도; 2.29g/cm³)로 인한 중력 편석을 방지하기 위해, 알콜을 함유하는 혼합분말을 핫플레이트와 교반기를 사용하여 균일하게 혼합, 건조한 후 마지막으로 건조로에서 100℃, 3h 건조하였다. 건조된 분말은 16mesh의 체에서 체질하여 1mm이하의 조립분말을 얻었다. 건조된 분말을 1800℃, N₂분위기에서 2시간 동안 25MPa의 압력으로 열간가압소결에 의해 소결체(φ 6mm, 두께 5mm)를 제조하였다.

Fig. 7에 각 조성에 있어서의 경도와 파괴인성에 미치는 질화붕소(BN)함량의 영향을 나타내었다. 먼저, 경도는 시편 SM의 경우에 1,402 kg/mm²의 높은 경도값을 나타내었으나, 질화붕소(BN) 입자의 첨가량이 증가할수록 감소하는

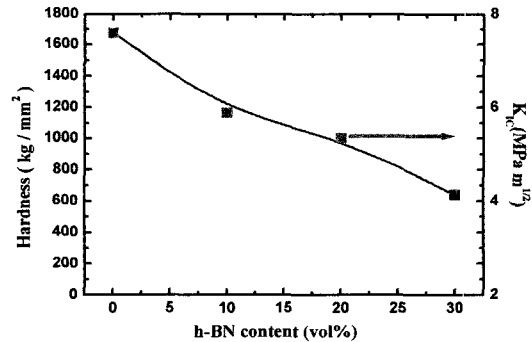


Fig. 7 Effect of BN content on the fracture toughness and hardness(Si₃N₄)

경향을 보였다. 파괴인성도 시편 SM의 경우에 $7.58\text{Mpa} \cdot \text{m}^{1/2}$ 의 높은 값에서 질화붕소(BN) 입자의 첨가량이 증가할수록 감소하는 경향을 보였다. 제조된 시편은 다이아몬드 절삭기를 이용하여 절삭한 후 평면·연삭 및 경면·연마(입도가 $1\mu\text{m}$ 인 다이아몬드 페이스트)를 통해 시편($3 \times 4 \times 36 \text{mm}^3$)을 제조하였다.

4. 실험 결과 및 고찰

4.1 시간에 따른 표면 거칠기 비교

Si_3N_4 를 실험방법에서 제시한 조건 하에 가공을 하였으며, 질화붕소(BN) 함유량은 0%, 10%, 20%, 30%이었고, 5분 간격으로 표면 거칠기를 측정하였다.

Fig. 8은 그 결과를 나타내는 그래프이다.

질화붕소(BN)의 함유량에 따라 표면 거칠기 값이 높아지는 경향을 나타냈다.

또한 질화붕소(BN)가 함유되지 않은 세라믹의 가공에서는 시간이 지날수록 더욱 좋은 표면 거칠기 값을 나타내었지만, 질화붕소(BN)가 함유된 머신어블 세라믹은 일정시간을 초과한 후에는 표면 거칠기 값의 향상이 나타나지 않거나, 표면 거칠기 값이 저하되는 현상을 보였다.

이러한 원인으로는 Si_3N_4 -BN계 머신어블 세라믹스의 3점 굽힘강도가 Si_3N_4 일체식 구조의 경우 약 1GPa로서 높

은 강도를 나타내었으나, 질화붕소(BN) 함량이 증가할수록 감소한다.

경도와 파괴인성도 질화붕소(BN) 함량이 증가할수록 감소하는 경향을 보였다. 이는 질화붕소(BN) 함량이 증가할수록 판상의 질화붕소(BN) 입자의 벽개면을 따라 미세균열이 용이하게 전파되는 것을 의미하며, 탄성율의 감소도 원인이 된다⁽⁷⁾.

또한 상대밀도는 질화붕소(BN) 함량이 많을수록 감소하였으며, Si_3N_4 일체식구조와 질화붕소(BN) 함량이 0~20%까지는 거의 이론밀도를 보였으며, 30%에서는 각각 96.7%의 밀도를 나타내었다.

미세 균열이 용이하다는 것과 밀도가 저하된다는 것은 공작물의 절삭성을 향상시키지만, 래핑 가공 시 표면 거칠기 값을 저하시키는 원인으로 사료되어진다.

위의 결과에서는 질화붕소(BN)의 함유량이 높을수록 같은 조건 하에서 표면 거칠기 값이 증가함을 알 수 있다.

본 실험에서 최적의 가공 시간은 10분에서 가장 좋은 표면 거칠기 값을 나타내었다.

Fig. 9는 머신어블 세라믹(Si_3N_4)의 가공 후 면을 전자 주사 현미경으로 촬영한 것이다. 질화붕소(BN)의 함유량이 커짐에 따른 표면 조직을 나타내고 있다.

Fig. 9 (a)는 질화붕소(BN) 0%는 가장 좋은 표면 거칠기를 나타내었는데, 표면의 입자 탈락이 균일하게 일어났으며, 균열 또한 크게 일어 나지 않았음을 보이고 있다.

Fig. 9 (b)는 질화붕소(BN) 10%에서는 입자 탈락과 균열의 범위가 증가하고 있음을 보이고 있다. 이는 BN함량의 증가로 인해 미세 균열이 용이 하기 때문이다.

Fig. 9 (c)는 질화붕소(BN) 20%에 대한 표면 사진이다. 질화붕소(BN) 30% 또한 비슷한 표면 거칠기 값을 나타내어, 주사전자현미경 사진을 생략하였다.

Fig. 10의 (a)는 가공전 사진이며, (b)는 가공후의 경면 사진을 나타내고 있다.

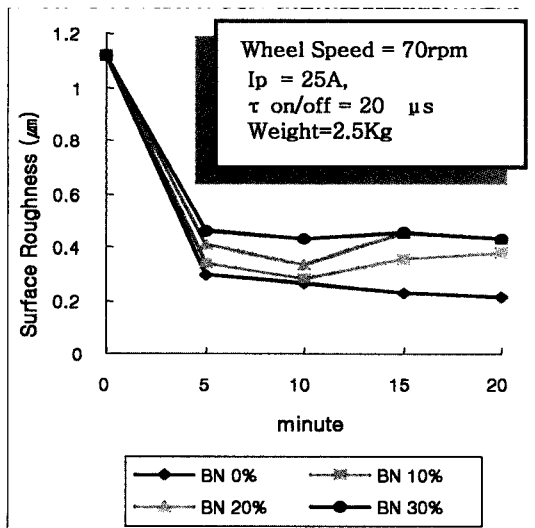
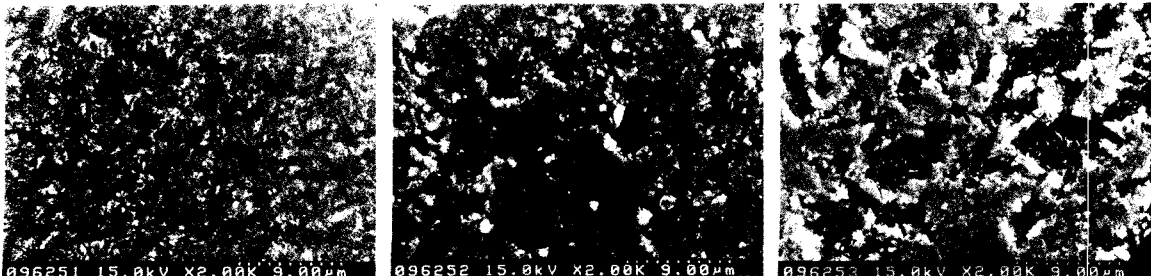


Fig. 8 Surface roughness of MachinableCeramic(Si_3N_4)

4.2 속도에 따른 표면 거칠기 비교

일반적으로 스톨의 회전속도가 빠를수록 표면 거칠기 값이 향상된다. 머신어블 세라믹 또한 이와 같은 결과값을 확인하기 위해 실험을 수행하였다.

질화붕소(BN) 0%는 일반 세라믹이므로, 표면 거칠기 결과값을 제외 시켰으며, 질화붕소(BN) 20%, 30%은 일반 절삭가공과 큰 차이를 보이지 않았기 때문에 실험 결과에서 생략하였다.



(a) BN 0%(Surface roughness Ra=0.21µm) (b) BN 10% (Surface roughness Ra=0.27µm) (c) BN 20%(Surface roughness Ra=0.35µm)

Fig. 9 SEM of Machinable Ceramic (Si_3N_4)



(a) Before lapping

(b) After lapping

Fig. 10 Comparison of surface clarity (Si_3N_4 10%)

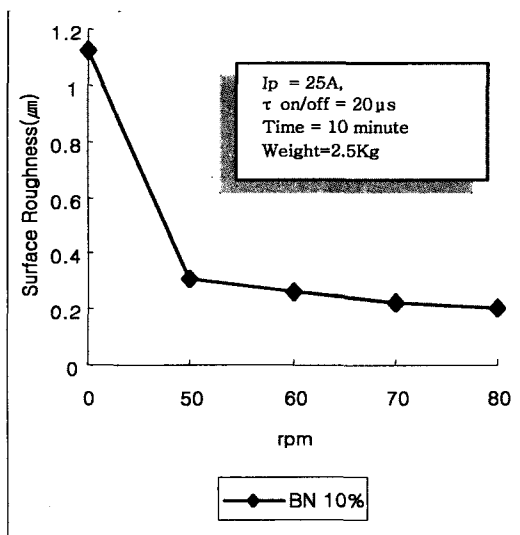


Fig. 11 Relationship between surface roughness and lapping velocity

연속 전해 드레싱을 적용한 경우의 평균 표면 거칠기를 표시한 것이고, 래핑 스톨 속도를 높일수록 표면 거칠기 값이 향상됨을 알 수 있다. 이는 래핑 스톨의 속도가 증가할수록 래핑 저항이 감소하기 때문이다. 이러한 결과로 표면 거칠기가 Ra 0.2µm까지 향상되었다.

Fig. 11은 그 결과를 나타내고 있다.

5. 결론

- (1) 질화붕소가 함유되어 있지 않은 재료가 가장 좋은 표면 거칠기를 나타내었고, 시간이 지날수록 향상되는 표면 거칠기 값을 나타내었으며, 속도가 증가할수록 표면 거칠기 값이 향상되었다.
- (2) 질화붕소가 함유된 재료는 10분정도에서 가장 좋은 표면 거칠기 값이 나타났다. 10분 이상 가공 시에 표면 거칠기의 변화는 향상 되지 않았다.
- (3) 질화붕소 함유량이 증가할수록, 표면 거칠기 값이 높아짐을 보이고 있다. 질화붕소(BN)의 증가는 래핑가공시 미세 균열에 기인한다.

후 기

본 연구는 한국과학재단 목적기초연구(R01-2001-000-00257-0)지원으로 수행되었으며, 관계자 여러분께 감사 드립니다.

참 고 문 헌

- (1) Kil-Woo Lee, Soon-Tae Kim, "An Experimental Study on Cutting Characteristic of Ceramics", Journal of The Korean Ceramic Society, 30(5), 420~426, 1993.
- (2) Kee Sung Lee, Seoun Dun Lee, Do Kyung Kim, "Quasi-Plasticity of Si₃N₄-BN Composites", Korean Journal of Materials Research, 8(3), 320~326, 1998.
- (3) Pearson Education Korea, "Ceramics Raw materials", 383~390, 1996.
- (4) K. S. Mazdiyasi, Robert Ruh, and Edward E. ernes, "Phase analysis and characteristics of AlN-BN composites", Am. Ceram. Soc. *Bul.*, 64(8), 1149~1154, 1985.
- (5) J. S. Gam, J. S. Ha, D. S. Cheong, and K. S. Han, "Machinable and Strength of AlN-BN Ceramics (in Kor.)", J. Kor. Ceram. Soc., 31(2), 177~184, 1994.
- (6) 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.
- (7) Seung-Hyun Kim, Won-Seung Cho, Myeong-Woo Cho, Eun-Sang Lee and Jae-hyung Lee, "Mechanical Properties of Si₃N₄-BN Based Ceramics Fabricated By Hot-pressed Sintering", Spring meeting of The Korean Ceramic Society, 193, 2002.