

정밀연삭기의 전해드레싱 시스템 개발사례
Development of Grinding Dressing System by Using Inprocess
Electrolytic Dressing

김 정 두, 이 은 상, 육 인 수(KAIST), 김 진 복, 박 한 순((주)서창상사)
Jeong-Du Kim, Eung-Sang Lee, In-Soo Yook(KAIST),
Jin-Bok Kim, Han-Sun Park(Seo Chang Co.)

Abstract

Recently, developments in the frontier industry have brought a rapid increase in the use of brittle materials such as silicon wafer, ferrite, sintered carbide, MgO single crystal and die steel. Because of high hardness and brittleness the cracking and chipping are apt to generate in the grinding of brittle materials, but have replaced gradually the high precision grinding.

In this study, the optimum system of in-process electrolytic dressing controlled by computer was developed for improving the defects, and could maintain the optimum dressing condition at all times. The control of in-process dressing was simplified using this system, was able to maintain a stable dressing current and was unrelated to the change of dressing condition according to the variation of gap and oxide layer. Therefore, the optimum in-process electrolytic dressing system was constructed and the analysis of grinding mechanism with this system was studied.

1. 서론

산업에 응용되는 경취재료중 단결정 산화마그네슘은 내열성 및 내화학성이 뛰어나 여러 부분에 사용되고 있으나 크랙이 쉽게 발생하여

연삭가공이 매우 어려운 단점을 갖고 있으며, 초경합금은 높은 압축강도 및 온도상승에 무관한 경도유지등의 특성에 의해서, 공구및 금형에 많이 사용되고 있으나 취성 및 강성에 의해서 가공이 매우 어려운 난삭재이다. 또한 파인세라믹은 경도, 강도, 내열성, 내식성, 내마멸성등에 있어서 우수한 특성을 갖는 반면 고경도특성에 의해서 연삭이 매우 어렵다. 블랭킹, 펀칭 포밍등의 금형재로 많이 사용되는 SKD-11에 표면질화처리를 함으로서 표면경도를 높이게 되며, 이에 따라서 연삭성이 매우 떨어지게 된다.

전해드레싱은 전기분해작용에 의해서 슛들의 금속결합제가 이온용출되어 제거됨으로서, 연삭날의 결합지력이 약해져서 무디어진 연삭날이 제거되는 공정을 반복하게 된다. 전해드레싱시 산화막의 생성으로 인해서 드레싱전류의 변화를 갖게되며, 드레싱진행시 간극의 증가에 따른 전류값의 변화가 발생하게된다. 연속적인 드레싱시 산화막의 변화와 연삭가공 및 드레싱에 따른 간극의 증가등의 원인으로 불안정한 드레싱전류값의 변화가 유발되어 전해드레싱의 효과가 감소하게 된다. 이에 따라 무디어진 연삭날이 제거가 원활히 이루어지지 않아서경취재료 가공시 연삭력의 증가등을 유발하게 되어 공작물에 좋지않은 영향을 미치게 된다. 본 연구에서는 기존의 정밀연삭에 전해드레싱 시스템을 개발하여 현존하는 난삭재 경면가공을 시도하였다.

본 시스템을 적용하여 초경합금, 단결정 산화마그네슘, 파인세라믹등의 난삭재 경면연삭을 달성하기 위해서 연삭가공시 최적 연속 전

해드레싱의 작용에 따른 연삭기구의 특성을 조사하였으며, 이에 의한 연삭가공시 표면거칠기, 연삭력 및 연삭깊이에 따른 표면생성 영향 등 실험을 통하여 고찰하였다.

2. 전해드레싱시스템 설계 및 제작

2-1 시스템 설계

연삭시스템의 구성에 의한 초정밀 연삭이 가능하게 되려면 초정밀 연삭용 공작기계, 연삭용 지석 및 드레싱시스템등의 기본요소가 충족되어야 그 실현이 가능하고, 가공기계 시스템의 고정도 운동능력과 동시에 주변의 기술이 확립되어야 가능하다. Fig.1은 초정밀연삭가공을 달성하기 위한 필수 요소를 나타낸 것이다.

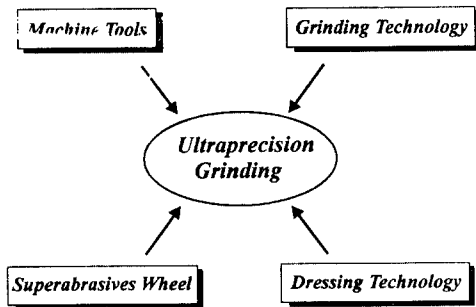


Fig.1 Essential factor for ultraprecision grinding

본 연구에 적용한 초정밀 연삭시스템의 지석주축은 공압스핀들을 적용하여 회전정도를 높였다. 일정한 공기압을 스펀들 축과 베어링 하우스의 매우 작은 구멍에서 유입되고, 계속적으로 베어링 끝에 유출되어 스펀들의 비접촉회전이 가능하다. 또한, 공압베어링은 직동형(Built-in) 모터와 연결하여 3400rpm의 회전을 가능하게 하였다. 공압스핀들에는 정압압축 공기 (6Kg/Cm²)를 공급하였으며, 미세필터를 설치하여 분진 및 입자가 혼입되지 않게 하였으며, 공기중 습기를 제거하기 위해서 공기드라이어를 사용하여 공급공기를 건조하였다.

Fig.2는 본 연구에서 초정밀 연삭을 하기위

한 실험장치를 나타내고 있으며, 연삭깊이를 미소 조절키 위하여 연삭깊이 미소이송장치를 설치하고 그위에 공구동력계(Kistler 9257B)를 장착하여 오실로스코프로 연결하여 연삭시 직접 연삭력의 변화추이를 관찰 할 수 있게 설치를 하였다. 연삭깊이 미소이송장치에 사용한 압전소자(piezoelectric actuator)는 미소 이송장치를 위하여 많이 사용되고 있으며, 특히 기계장치에서 발생 할 수 있는 백래쉬 및 스틱슬립등의 현상을 방지할 수 있기 때문에 마이크로미터 이하의 수준을 유지하면서 조절이 가능하다. 실험에서 사용한 슷들은 주철결합제로 되어있는 초미립자 다이아몬드 슷들이며, 전해드레싱시스템의 양극단자와 연결되어 있고, 전해용전극(동 99%)에 음극단자를 연결구성하였으며, 전극에 장착된 마이크로미터헤드를 사용하여 초기간극을 조절하였다. 슷들과 전극사이 간극은 초기에 고정하고서, 연속전해드레싱을 이용한 연삭가공을 수행하게 하였다.

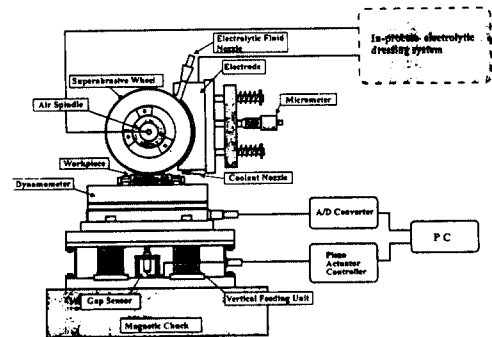


Fig.2 Experimental setting for ultraprecision grinding system

2-2 전해드레싱 전해액

연속전해드레싱을 원활하게 유지하기 위해서는 지석과 전극사이에 전기분해를 위한 전해액의 공급이 적절하여야 한다. 약전도성 전기분해 및 연삭액으로 적용되기 위해서는 수용성 연삭유제가 적용되어야 한다. Fig.3은 전해액에 따른 드레싱효과를 분석하기 위하여 각각 전해액 수용성 1종 (emulsion type 20배 희석), 수용성 2종 (soluble type 20배 희석), 수용성 3종 (solution type 50배 희석)을 사용

수용성 3종 (solution type 50배 희석)을 사용했을 경우 각각의 경우에서 드레싱 전류와 전압을 측정된 결과를 나타낸 것이다.

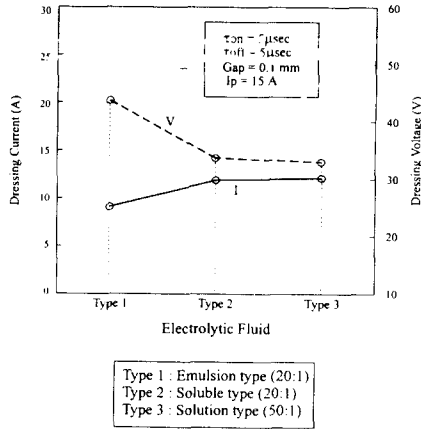


Fig. 3 Dressing Current and Voltage according to various Electrolytic Fluid

가공조건으로 공작물은 단결정 산화마그네슘을 사용하였고 연삭깊이 $5 \mu\text{m}$, 피크전류 15A이고, $t_{on}/t_{off}=5 \mu\text{s}$ 이다.

전해액에 대하여 전기저항이 크면 전해드레싱시스템에 일정한 전류를 공급하기 위하여 전기저항이 작은 전해액을 사용할 경우에 비하여 큰 전원 공급을 필요로 하기 때문에 바람직하지 못하다. 그림에서 보면 수용성 3종이 수용성 1,2종보다 전기저항이 작다. 따라서 본연구에서는 수용성 3종의 연삭유제를 사용하였다.

2-3 전극장치

Fig.4는 전극장치의 구성도를 나타낸 것으로, 전극에 마이크로미터 헤드를 설치하여 초기 간극유지를 정확히 조절하였고, 2개의 스프링에 의해서 간극의 균형을 유지하게 하였다. 스킵 및 전극의 전기분해작용을 원활하게 하기 위해서 전극상단에 전해액 노즐을 설치하였다. 전극에 (-)극을 연결하고, 지석에 (+)극을 연결하여 양극사이에서 전기분해작용에 의

해서 전해드레싱이 되게 하였으며, 전극, 지지대, 연결축, 냉각액 분리기, 전해액보조대등으로 구성되어있어서, 전해액과 연삭액을 동시에 공급할 수 있고 전기분해 작용시 전류의 안정성을 유지할수 있게 한다.

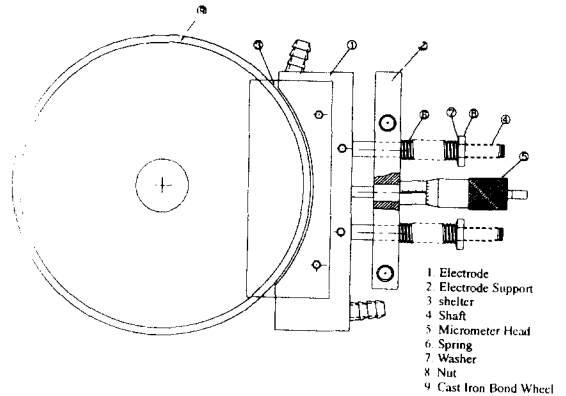


Fig. 4 Electrode equipment for experiment

2-4 시스템 조절 프로그램

최적 전해드레싱이 유지되기 위해서는 주철결합제 스킵과 전극 사이의 정격드레싱 전류가 크게 변화되서는 안된다. 또한 전해드레싱시 전해액의 공급상태, 스킵의 고속회전시간극상태의 변화등 드레싱조건의 불규칙적인 변화에 의해서 선형적인 제어가 큰 효과를 나타내지 못한다. 따라서 드레싱상태를 연속적으로(inprocess) 측정하여 조절하는 방식을 취하였다.

Fig.5는 최적전해드레싱을 위한 정격전류 자동조절 컴퓨터프로그램 흐름도이다.

입력된 정격전류값을 계속하여 실제 측정값과 비교한 후 최적의 정격전류로 변화시킨다. 이때의 오차는 정격전류의 5%이내인데, 이는 5%이내의 수준을 유지하면 드레싱성능에 거의 영향을 미치지 않기 때문이다.

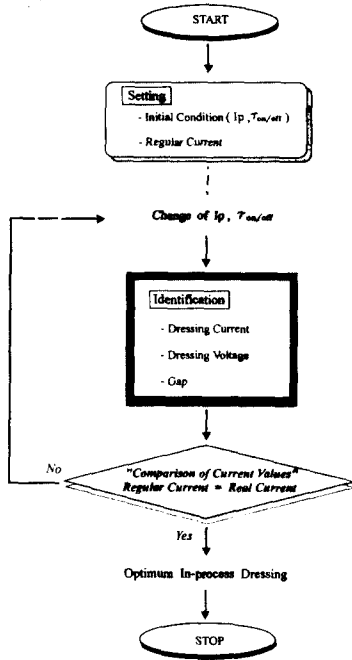


Fig.5 Flow chart of control of regular current for optimum electrolytic dressing

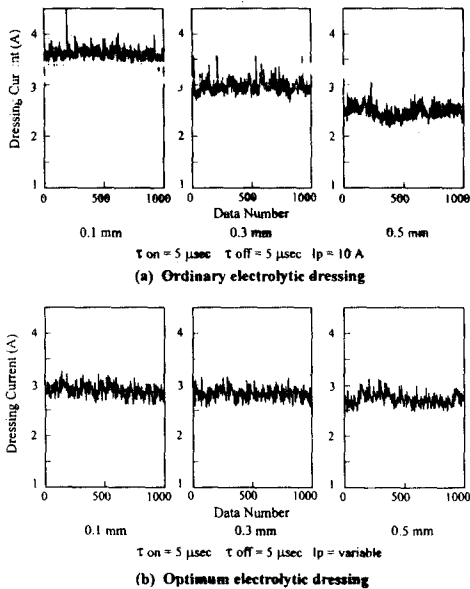


Fig. 7 The comparison of dressing current data according to gap

Fig. 6은 최적 연속 전해드레싱 시스템의 펄스폭, 휴지폭 및 간극을 일정하게 고정하고,

피크전류를 변화시킴으로서 전극과 스톤사이의 드레싱 전류, 전압의 변화를 측정하여 나타낸 것으로서, 피크전류의 증가에 따라 실제 전해 드레싱에 적용되는 전류값은 거의 선형적으로 변화되며, 전압값은 20A까지는 경사가 신속하게 상승되고 그 이후에는 완만한 상승을 나타낸다. 수치적으로는 피크전류가 10A에서 40A까지 상승하였을 때, 전류는 6.5A에서 25A까지 상승되고, 전압은 14V에서 34V까지 상승하였다. 따라서, 피크전류의 변화와 간극의 드레싱 전류와는 거의 선형적으로 변화됨을 볼 수 있으며, 피크전류의 자동조절을 통하여 드레싱 전류를 최적상태로 일정하게 조절이 가능하다. 또한, 전해드레싱 특성상 드레싱 전류 1A이내 변화로 인하여 드레싱 성능에 큰 변화를 주지는 않는다

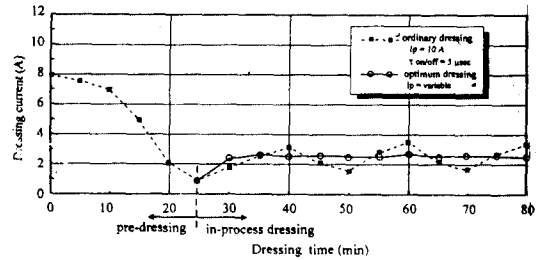


Fig. 6 Relationship between dressing current and dressing time

Fig.7은 전해드레싱시 드레싱전류의 데이터의 간극을 0.1, 0.3, 0.5mm로 하였을 때 각각 1000개씩 받아서 표시한 것으로서, (a)는 컴퓨터 제어에 의한 정격전류를 제어하지 않은 상태의 데이터를 나타낸 것이고, (b)는 최적 정격전류 제어에 의한 데이터를 수집한 상태를 나타내고 있다. 정격전류를 제어하지 않은 경우는 간극을 증가시킴에 따라 드레싱 전류 데이터 값이 낮아짐을 관찰할 수 있으며, 이 현상은 전기분해 작용시 간극 증가에 따른 전해액의 저항 상승에 따르는 현상이다. 초기전류를 2.7A로 설정하고, 컴퓨터 제어에 의한 정격전류의 변동에 따라 피크전류를 변화시킴으로서 드레싱 정격전류를 제어하였을 때에는 거의 초기전류값 부근에서 유지됨을 볼 수 있

다. 따라서, 컴퓨터 인터페이스에 의한 정격전류를 제어하는 것이 항상 일정한 드레싱 전류를 유지하는 매우 양호한 효과를 나타냄을 볼 수 있다. 본 최적 연속 전해드레싱 시스템은 시간의 경과 및 간극의 증가등 드레싱에 영향을 미치는 외부의 조건 변화에 무관하게 항상 일정한 드레싱을 유지한다는 점에서 그 성능이 매우 우수하다고 하겠다.

Fig.8은 드레싱 시간에 따른 드레싱 전류의 변화를 나타낸 것으로서, 25분까지는 숫돌을 트루잉후 숫돌입자의 초기돌출을 위한 전드레싱(pre-dressing)상태이다. 전드레싱 경과후 점선은 일반적인 전해드레싱으로 드레싱전류를 제어하지 않은 것을 나타내고 있으며, 실선은 드레싱전류를 제어한 것을 나타내고 있다. 드레싱 제어를 하지 않은 경우에는 연삭이 수행됨에 따라 산화막의 제거가 진행되고, 산화막이 얇아짐에 따라 드레싱 전류값은 높아지게 되고, 다시 산화막의 생성이 증가되어 전류값은 감소하게 된다. 이러한 일반적인 전해드레싱 연삭가공에 의해서 드레싱의 전류값이 증가되고 감소되는 불안정성을 보이게 된다. 그러나, 드레싱전류를 제어하면 일정한 드레싱 전류를 유지할 수 있어서, 드레싱전류의 불안정에 따른 드레싱 효과의 저하현상을 방지하게 된다.

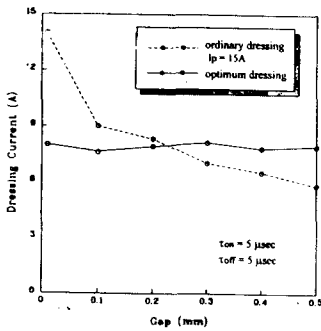


Fig.8 The change of dressing current according to gap

3. 가공사례 및 공업적 응용

3-1 페라이트의 경면연삭

Fig.9는 일반전해드레싱과 최적전해드레싱을

적용하여 연삭한 면을 백색광주사간섭계에 의한 표면형상 및 표면거칠기를 나타낸 것으로서, 최적전해드레싱시스템을 적용하면서 D12000 입자의 다이아몬드지석을 이용하여 미소연삭 깊이 1 μ m에서 연삭을 수행한 면은 일반 전해드레싱을 적용한 것 보다 약 2배의 표면거칠기 (Ra 8nm)형상을 나타냈다.

Materials	ordinary electrolytic dressing	optimum electrolytic dressing
Ferrite	 Ra 15 nm	 Ra 8 nm
Sintered Carbide	 Ra 6 nm	 Ra 3 nm
MgO Single Crystal	 Ra 19 nm	 Ra 9 nm
STD-11	 Ra 7 nm	 Ra 4 nm
Silicon Wafer	 Ra 23 nm	 Ra 12 nm

Fig.9 View of ground surface profile of brittle materials

Materials	ground mirror-like surface	experimental condition
Ferrite		Wheel : D12000N100M3 Vw = 1.0 m/min Depth of grinding : 1 μ m Optimum in-process dressing : ton/off = 5 μ sec Ra 8 nm
Sintered Carbide		Wheel : D12000N100M3 Vw = 1.0 m/min Depth of grinding : 1 μ m Optimum in-process dressing : ton/off = 5 μ sec Ra 3 nm
MgO Single Crystal		Wheel : D12000N100M3 Vw = 1.0 m/min Depth of grinding : 0.3 μ m Optimum in-process dressing : ton/off = 5 μ sec Ra 9 nm
STD-11		Wheel : CBN12000N100M3 Vw = 1.0 m/min Depth of grinding : 1 μ m Optimum in-process dressing : ton/off = 5 μ sec Ra 4 nm
Silicon Wafer		Wheel : D12000N100M3 Vw = 1.0 m/min Depth of grinding : 0.5 μ m Optimum in-process dressing : ton/off = 5 μ sec Ra 12 nm

Fig.10 View of ground mirror-like surface of brittle materials

3-2 결정 산화마그네슘(MgO single crystal)의 경면연삭

단결정 산화마그네슘의 결정구조는 NaCl형이며, (100), (010), (001)면으로 벽개성을 갖고 있으며, 재료의 경도는 900(Vickers)이고, 화학 성분은 Table.1과 같다. 단결정 산화마그네슘 시편의 방향성을 측정하기 위해서, X선에 의해서 회절상태를 측정하는 디플렉토미터(diffractometer)를 사용하였으며, 파장($\lambda = 1.5418$)은 $\lambda = 2d \sin \theta$ dlek. 측정한 시편의 면간거리 (d)와 회절각(2θ)은 각각 2.097과 43.1에서 최대치를 갖음으로서 단결정 산화마그네슘의 {100}방향을 갖는다.

Table.1 Chemical composition of MgO single crystal(WT%)

Materials	WT(%)
MgO	99.14
CaO	0.4
SiO ₂	0.2
Al ₂ O ₃	0.06
Fe ₂ O ₃	0.1
B ₂ O ₃ (ppm)	120

3-3 STD-11강의 경면연삭

금형 및 공구강등으로 널리 사용되고 있는 STD-11강은 기계적성질이 매우 우수하여 경면연삭가공이 어렵다. STD-11의 경면연삭을 달성하기 위해서는 초미립자 지석을 적용시켜야 하는데, 눈매움 및 날 무디어짐을 방지하여야 한다. 따라서, 연속적인 전해드레싱이 매우 중요하며, 보다 적합한 드레싱적용이 필요하게 되었다. 본 실험에서는 자동차 베어링제작용 금형으로 사용되는 표면질화처리된 STD-11을 주철본드 CBN지석을 이용하여 연삭을 수행하였다. STD-11의 화학적조성은 Table.2에 나타나 있다.

Table.2 Chemical composition of STD-11(%)

Materials	Chemical composition (%)
Cr	11.0~13.0
C	1.4 ~ 1.6
Mo	0.8 ~ 1.6
Mn	0.6
Si	0.4
V	0.2 ~ 0.5
P	0.03
S	0.03

4. 결론

본 연구를 통하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 연삭가공시 마멸된 연삭입자를 탈락시키기 위해서는 안정된 산화막이 생성되어야 하며 이를 유지하기 위해서는 전해드레싱 전류를 제어하는 최적 전해드레싱을 적용하여야 한다.
2. 전해드레싱 시스템의 입력값인 피크전류와 드레싱전류의 관계는 거의 선형적이며, 연속 전해드레싱시 일정한 드레싱전류를 유지하기 위하여 피크전류를 제어하는 것이 보다 효과적이다.
3. 본 시스템은 드레싱 시간의 경과 및 간극의 증가등 드레싱에 영향을 미치는 외부의 조건 변화와 무관하게 항상 일정한 정격전류를 유지하는 능동적인 제어특성을 갖고 있다.
4. 최적 연속 전해드레싱 시스템을 적용하는 연삭기구를 구성함으로써 공작물의 연삭가공에서 연삭력의 감소효과를 나타내고, 크랙을 제거하는데 양호한 효과를 보였다.
5. 경취재료중 단결정 산화마그네슘의 연삭시 내부 및 표면크랙을 제거하려면 미소한 연삭깊이를 유지해야 하며, 압전소자를 이용한 미소연삭깊이 조절장치를 적용하고 최적 연속 전해드레싱 시스템 및 주철 결합체 다이아몬드지석을 이용하여 단결정 산화마그네슘의 크랙없는 경면연삭을 달성하였다.

참 고 문 헌

- [1] 김정두, 이은상, 1995, 최적 연속 전해드레싱 시스템의 개발과 제어 특성, 대한기계학회 논문집, 제19권, 제3호, pp.680-687
- [2] E.S.Lee and J.D.Kim, 1997, A Study on the Analysis of Grinding Mechanism and Development of Dressing System by using Optimum In-process Electrolytic Dressing, International Journal of Machine Tools and Manufacture (in press)
- [3] J.D.Kim and E.S.Lee, 1997, Surface Characteristics on the Ductile Mode Grinding of MgO Single Crystal with Optimum In-process Electrolytic Dressing System, International Journal of Machine Tools and Manufacture (in press)
- [4] J.D.Kim, E.S.Lee and C.Y.Lee, 1995, Crack generation and the effect of in-process electro-discharge dressing in grinding single crystal MgO, International Journal of Mechanical Sciences, Vol.37, No.6, pp.569-583
- [5] H.Ohmori and T.Nakagawa, 1990, "Mirror Surface Grinding on Silicon Wafers with Electrolytic In-process Dressing", Annals of the CIRP, Vol.39, pp.329-332
- [6] H.Ohmori and T.Nakagawa, 1995, "Analysis of Mirror Surface Generation of Hard and Brittle Materials by ELID Grinding with Superfine Grain Metallic Bond Wheels", Annals of the CIRP, Vol.44, pp.287-290
- [7] E.S.Lee and J.D.Kim, A Study on the Mirror-like Grinding of Fine Ceramics with In-process Electrolytic Dressing, International Journal of Advanced Manufacturing Technology, Vol.12, pp.246-254, 1996
- [8] J.D.Kim, 1994, "New concept according to the compensation of dressing gap for optimum in-process electrolytic dressing", Int. Conference on Precision Surface Finishing and Burr Technology, Seoul, pp.349-366
- [9] J.D.Kim and S.R.Nam, 1995, A Development of Micro-Positioning Grinding Table Using Piezoelectric Voltage Feedback, Journal of Engineering Manufacture, Vol.209, pp.469-474