

◆특집◆ Eco-Machining

환경친화적 전해드레싱 적용 초정밀 래핑가공 기술

이은상* , 최재영**

Technology of Environmentally Conscious Machining for Ultra-precision Lapping with In-Process Electrolytic Dressing

Eun-Sang Lee*, Jae-Young Choi**

Key Words : Ultra-Precision Lapping Machining(초정밀 래핑가공), In-Process Electrolytic Dressing(연속 전해 드레싱), CIB-Diamond Lapping Wheel(주철본드 다이아몬드 래핑숫돌), Loading(눈메움), Glazing(날무디어짐)

1. 서론

첨단 산업용 난삭재인 파인 세라믹, 페라이트, 초경합금, 실리콘 등은 고경도, 고강성, 전기 전자 기능 재료, 내열구조 재료로서 최근 수년동안 제품의 경량화, 화학적 안정성 그리고 우수한 내마멸성과 뛰어난 기계적 물성치에 의해 관심이 증가되어 왔으나, 이러한 재료의 많은 장점에도 불구하고 공작기계의 한계에 부딪쳐 다양한 분야에 적용이 제한되어 왔으나, 산업발달로 인하여 보다 초정밀 경면 가공을 요구하고 있다.⁽¹⁾

이러한 난삭재의 기존의 초정밀 경면 가공 방법은 자유 입자를 이용한 래핑 가공이 대부분의 업체가 사용하는 방식이다. 그러나, 이러한 자유 입자를 이용한 가공 작업은 가공입자(Abrasives)에 의한 환경오염 등을 유발하게되며, 작업자의 손이나 의복을 입자에 의해서 오염되기 쉬고, 랩제가

다른 기계나 제품에 부착하면 이것을 마멸시킬 뿐만 아니라 제품의 다듬질면에 랩제가 남아 있으면 제품 사용 시 현저한 마멸을 촉진시키며 생산성에 있어서 비효율적이며, 고정도의 표면을 얻기 위해서는 숙련공이 필요로 한다.

특히, 사용전 및 후의 자유입자인 랩제는 가공액과 혼입하게 되며, 환경오염 및 작업오염등을 유발하는 큰 요인이 되고 있어서, 환경친화적인 초정밀 경면가공의 요구가 크게 대두되고 있다. 따라서, 이러한 자유 입자에 의한 가공 방법 대신에 가공입자 분산 및 비산에 의한 오염이 없는 초미립 고정 다이아몬드 입자 (Fixed Diamond Abrasives) 를 이용한 초정밀 래핑 가공이 필요로 하고 있다. 이 방법은 연삭과 래핑의 장점만을 합한 가공 방법으로써 일정한 정압을 이용하여 래핑 지식의 평탄도와 표면거칠기를 공작물에 진사시키는 래핑 가공법과 빠른 시간 안에 공작물을 제거하는 연삭의 가공법을 복합한 가공 방법이다.⁽²⁻⁵⁾

그러나, 이러한 초미립 고정 입자를 이용한 가공 방법 또한 단점을 지니고 있으며, 이것은 가공시 숫돌의 눈메움 (loading) 과 날무디어짐 (glazing) 현상 등이 발생되어 새로운 드레싱 기술의 접목이 요구되어 지고 있다. 초 정밀급의 경면 가공 표면

* 인하대학교 기계공학과

Tel. 032-860-7308, Fax. 032-868-1716

Email : leees@inha.ac.kr

초정밀 가공 시스템 및 마이크로 가공 분야에 관심을 두고 연구 활동을 하고 있다.

** 부산대학교 정밀정형협동과정 대학원

방법 또한 단점을 지니고 있으며, 이것은 가공시 슷들의 눈메움 (loading) 과 날무디어짐 (glazing) 현상 등이 발생되어 새로운 드레싱 기술의 접목이 요구되어 지고 있다. 초정밀급의 경면 가공 표면을 달성하기 위해서는 항상 최적의 슷들 상태를 유지하는 연속적인 드레싱 기술이 매우 중요하게 되었다.

연속적인 드레싱 기법은 금속결합제 슷들 위에 전극을 설치하고, 슷들회전과 동시에 약전도성 전해액을 그 사이에 통과하게 하여 펄스 조절전원을 인가함으로써 전기분해 작용에 의한 최적의 드레싱 상태를 유지하는 방법이다. 연속 전해드레싱은 전기분해 작용에 의해서 슷들의 금속결합제가 이온 용출되어 제거됨으로서, 초미립자의 결합 지지력이 약해져서 무디어진 지립은 제거되는 공정이 자율적으로 제어되는 반복되어 진다. 따라서, 전해드레싱을 적용하여 연속적인 드레싱을 가능하게 하여, 항상 새로운 초미립자 다이아몬드 입자에 의해서 공작물의 연속적 고능률 초정밀 래핑 가공이 가능하게 된다.⁽⁵⁻⁷⁾

이에 본 연구에서는 환경 친화적인 가공법으로 자유입자에 의한 가공이 아닌 연속 전해드레싱 기법을 적용한 고정지립 슷들 가공법과 초지립 메탈본드 슷들의 제작 방법 및 이를 적용하여 가공한 초정밀 경면 가공결과등을 소개하였다.

2. 연속 전해드레싱 래핑의 원리⁽⁵⁻⁷⁾

약전도성 전해액에 의한 전해드레싱에 연속성을 부여함으로써 초지립 지식을 안정적으로 가공에 이용할 수 있는 드레싱 방법을 연속 전해드레싱 (In-Process Electrolytic Dressing)이라고 한다.

Fig.1은 연속 전해 드레싱 래핑법의 원리를 나타낸 것으로서 미세한 다이아몬드 연마재를 가진 메탈본드 슷들은 트루잉 작업 후에는 연마재와 결합재는 평탄화 되며(①)연마성이 저하 된다.

그래서 초기 전해 드레싱을 통하여 결합재를 용출하여 연마재를 돌출시킨다.(②)

이 전해현상에서는 래핑 슷들의 결합재가 수 μm 용출한 후 빠르게 부도체 피막 (수산화철, 산화철 등)에 의한 절연층이 래핑 슷들 표면에 형성되고 과도한 용출은 방지된다.(③)

그리고 래핑을 시작하면 공작물이 이 부도체 피막과 접촉하여 연마재가 마멸된 분량만큼 피막이 벗겨진다(④). 이렇게 되면 피막에 의한 절연이 저하 되고 또다시 결합재가 필요한 양만큼 용출되어 연마재의 돌출이 유지된다.(⑤)

이 천이 상태(연속 전해드레싱 사이클)에 의해 다시 새로운 연마재가 돌출 되어져 안정된 가공이 진행된다. 이러한 연속 전해드레싱 래핑의 자율적인 제어 기능에 의해 초정밀의 가공이 유지된다.

아래의 수식은 슷들 표면에서 일어나는 산화 반응식을 표현한 것이므로, 전극(-)과 메탈본드 슷들 (+)사이에서 전해액을 통과시키고 펄스형 전류를 인가하면 철은 2가 양이온 및 3가 양이온이 되며 OH음이온과 결합하여 수산화 철($\text{Fe}(\text{OH})_2, \text{Fe}(\text{OH})_3$)을 형성하여 슷들 표면에 부착이 되면서 산화막이 형성 된다.

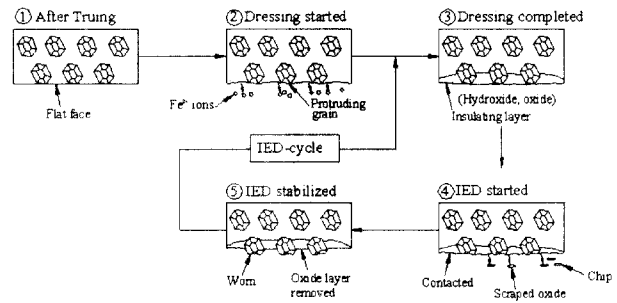
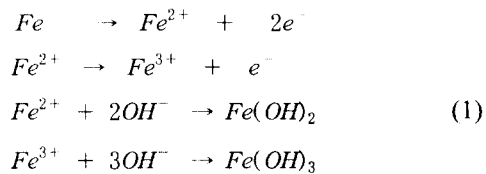


Fig. 1 Mechanism of IED lapping

3. 전해드레싱용 메탈본드 래핑스틀의 제작⁽⁸⁻¹²⁾

환경 친화적인 래핑가공법인 고정지립 전해 드레싱용 메탈 본드 슷들을 제작하기 위해서는 금속 분말의 결합재, 연마입자 그리고 기계-화학 그리고 기계 작용의 입자를 함께 섞은 후 금형에 충전 시킨다. 그런 후 핫프레스기에 금형을 넣은 후 750℃,

2 ton/cm² 로 가압 성형하여 소결 시킨다. 소결 방식에는 상온에서 고압으로 성형 후 노에서 고온으로 소결하는 방식과 고온, 고압을 동시에 주는 핫프레스 방식이 있으며 핫프레스 방식의 장점은 빠른 시간에 슷들을 제작 할 수 있으며, 또한 고온에서 다이아몬드가 산화되는 것을 막을 수 있다. 이렇게 제작되어진 슷들을 전도성 본드를 이용하여 슷들몸체에 부착시킨 후 드레싱을 하여 완성하였다. Fig.2은 전해드레싱용 래핑 슷들 제작 과정을 나타내었다.

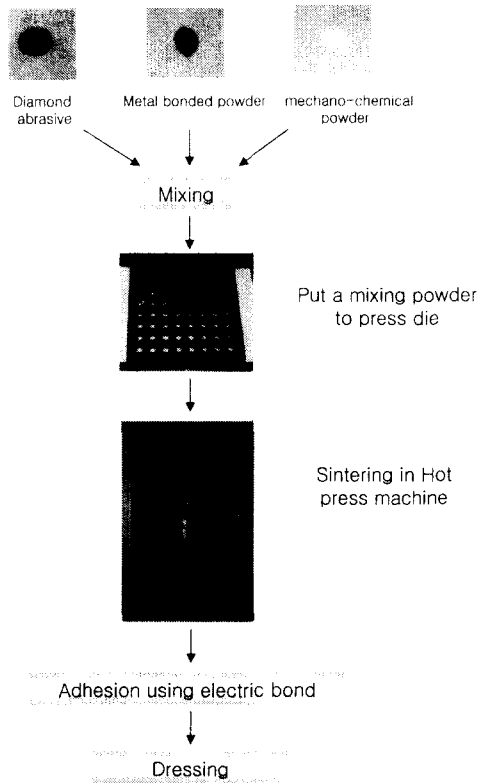


Fig. 2 Manufacturing process of metal bonded wheel

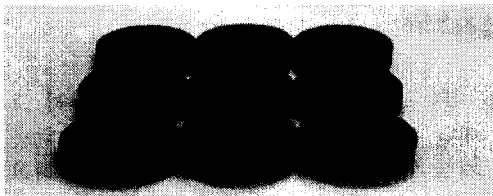


Fig. 3 Metal bonded diamond pellet

Fig.3는 제작 되어진 연속 전해 드레싱용 래핑 지석을 나타내고 있다.

Fig.4는 제작되어진 초지립 메탈본드 지석을 전도성이 있는 접착재를 이용하여 랩 정반에 부착시켜 완성한 D#8000의 $\phi 380$ 래핑 정반이다.

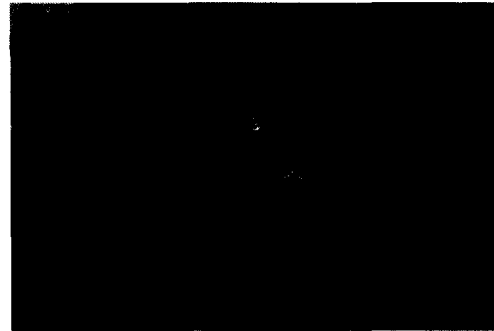


Fig. 4 Super-abrasive in-process electrolytic dressing metal-bonded diamond wheel(#8000)

4. 연속전해드레싱을 적용한 환경 친화적 초정밀 래핑가공

4.1 장치

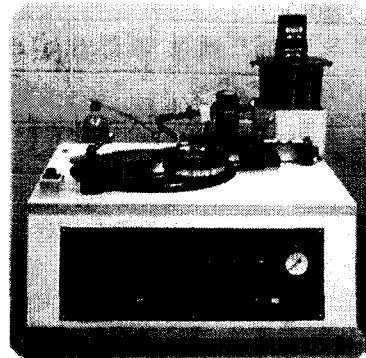


Fig. 5 General lapping machine

Fig.5는 일반적인 자유입자를 이용한 래핑장치를 나타내고 있으며, 이러한 자유입자를 이용한 래핑법은 저에너지 가공법이며, 가공입자인 랩제에 의한 환경오염등을 유발하게 된다.

Fig.6은 고정지립을 적용하여 환경친화적인 연

속 전해드레싱 래핑 장치도 이다. 제작되어진 초지립 메탈본드 다이아몬드 슷들을 단면 래핑기에 장착 후 공작물을 넣는 리테이너(Retainer)와 공작물을 가압할 수 있게 제작한 지그(Jig)를 이용하여 공작물을 가압하였다.

Table 1은 가공 조건을 나타내었으며, 슷들의 속도는 90rpm 이며, 피크전류 (Ip) 값을 15A, 펄스 유지, 휴지시간 ($\tau_{on,off}$)은 10 μ S로 맞추어, 가공 시간을 15분으로 하였다.



Fig. 6 Experimental units

Table 1 Experimental conditions

Wheel	Wheel speed	Pressurized weight	Peak current	$\tau_{on,off}$	Machining time
CIB-D (#8000, cons.100)	90 rpm	2.5kg	15A	on=10 μ S off=10 μ S	15 min

Fig.5는 일반적인 자유입자를 이용한 래핑장치를 나타내고 있으며, 이러한 자유입자를 이용한 래핑법은 저능률 가공법이며, 가공입자인 랩제에 의한 환경오염등을 유발하게 된다.

Fig.6은 고정지립을 적용하여 환경친화적인 연속 전해드레싱 래핑 장치도 이다. 제작되어진 초지립 메탈본드 다이아몬드 슷들을 단면 래핑기에 장착 후 공작물을 넣는 리테이너(Retainer)와 공작물을 가압할 수 있게 제작한 지그(Jig)를 이용하여 공작물을 가압하였다.

Table 1은 가공 조건을 나타내었으며, 슷들의 속도는 90rpm 이며, 피크전류 (Ip) 값을 15A, 펄스

유지, 휴지시간 ($\tau_{on,off}$)은 10 μ S로 맞추어, 가공 시간을 15분으로 하였다.

4.2 초경합금의 초정밀 래핑가공

기존에는 자유입자에 의한 가공방법으로 환경오염 등을 유발케 되었으나, 본 연구에서 개발된 래핑스틀을 적용하여 초경합금(M30)의 경면가공을 완성한 사진이 Fig.7 이다. 사진에서 보듯이 시편은 완전한 경면 창성을 확인 할 수 있었다. 표면 거칠기가 Ra 10.7nm (Rmax 50nm)로 스크래치가 거의 없는 초정밀 래핑 가공이 달성되었다.

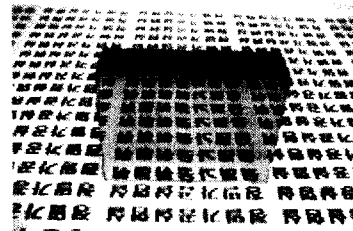


Fig. 7 Specimen of mirror-like surface (M30)

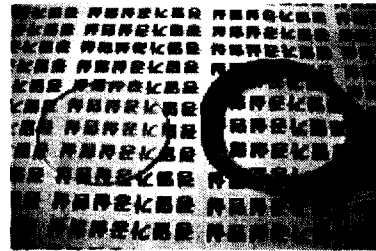


Fig. 8 Comparison of surface clarity (BK-7)

4.3 광학유리의 초정밀 래핑가공

Fig.8은 광학유리 (BK-7)의 초정밀 가공사진을 나타내고 있다. 사진에서 나타난 것과 같이 광학소자가 갖추어야 하는 빛의 투과성을 지닌 표면이 창성되었으며, Ra 16.7nm (Rmax 70.8nm)의 표면거칠기값을 얻을 수 있었다.

4.4 화인세라믹스의 초정밀 래핑가공⁽¹³⁾

세라믹제는 최근 전기 전기 전자 우주 관련 산업이 발달됨에 따라 보다 뛰어난 내열성, 내식성, 기

계적 강도, 화학적 안정성과 같은 뛰어난 기계적 물성치에 의해 관심이 증가하고 있다. 하지만 많은 장점에도 불구하고 재료의 특성상 난삭성과 취성이 높아 공작기계의 한계에 부딪쳐 다양한 분야에 적용이 제한되어 왔다.

Fig.9은 Al_2O_3 의 경면 가공 사진을 나타내었다. 사진에서 보듯이 시편은 경면이 창성 되었다. Ra 값은 66.9nm Rmax 값은 180nm 가 나왔다. 표면 거칠기 값이 큰 이유는 가공물의 소결 시 생기는 기공에 의한 것이다.

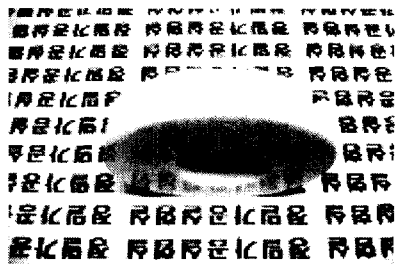


Fig. 9 Specimen of mirror-like surface (Al_2O_3)

4.5 Machinable Ceramics의 초정밀 래핑 가공



Fig. 10 Specimen of mirror-like surface (Si_3N_4 -BN)

질화규소에 BN을 첨가한 machinable ceramic (Si_3N_4 -BN)은 가공성이 우수하며, 또한 우수한 성질을 갖고 있기 때문에 고온 구조용 재료로서 가장 기대되고 있는 재료로, 자동차의 엔진부품, 베어링등에 사용되어지는 화인 세라믹 재료이다.

Fig.10은 machinable ceramic의 초정밀 가공사진

이다. Ra 52nm, Rmax 86nm의 표면거칠기 값을 얻을 수 있었다.

5. 일본의 적용예 (14)

Fig.11은 일본에서 제작되어진 연속 전해드레싱(ELID)을 적용한 초정밀 래핑 가공기 구성을 나타내고 있다.

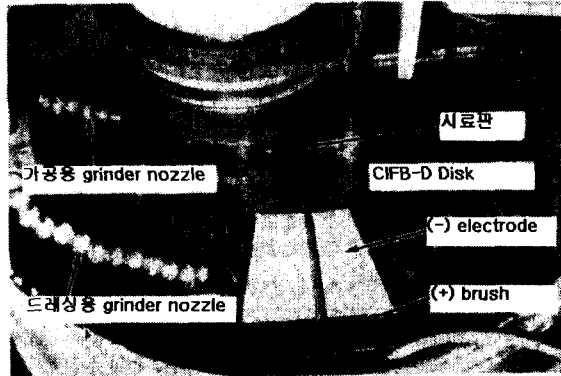


Fig. 11 Ultra-precision lapping machine with ELID

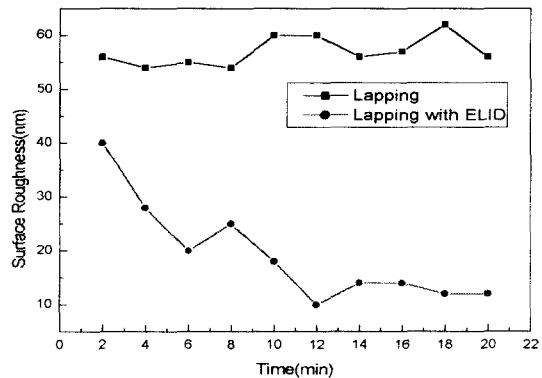


Fig. 12 Comparison convention lapping with ultra-precision lapping with ELID(Al_2O_3)

Fig.12는 세라믹(Al_2O_3) 일반적인 자유입자를 사용하는 래핑가공과 연속 전해드레싱을 적용하여 초지립 메탈분드숫돌을 이용하여 가공한 것을 가공시간 변화에 따라 비교한 것이다. 표면거칠기값을 비교하면 통상적인 일반래핑인 경우 Ra값이 50nm 정도이나 연속 전해드레싱을 적용한 래핑가

공인 경우 Ra 12nm 로 초정밀 래핑가공이 이루어 졌다.

Fig.13은 단결정 세라믹을 일반적인 자유입자를 이용한 래핑가공과 연속 전해드레싱 기법을 적용한 초정밀 래핑을 이용하여 가공한 예이다. 표면거칠기 값은 일반적인 래핑가공인 경우 0.2 μm 정도이나, 고정지립 및 연속전해드레싱을 적용한 경우 0.05 μm 정도로 경면 달성되었다.

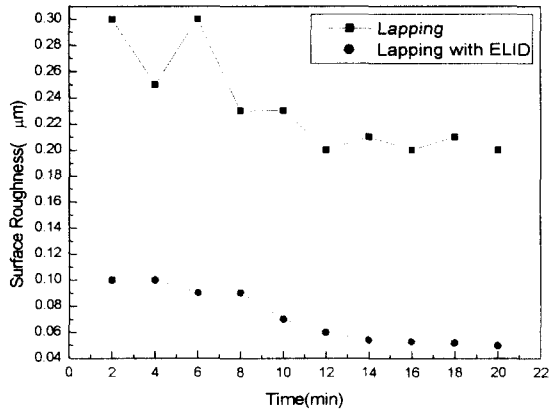


Fig. 13 Comparison convention lapping with ultra-precision lapping with ELID(silicon)

적용한 초정밀 래핑을 이용하여 가공한 예이다. 표면거칠기 값은 일반적인 래핑가공인 경우 0.2 μm 정도이나, 고정지립 및 연속전해드레싱을 적용한 경우 0.05 μm 정도로 경면 달성되었다.

6. 결론

본 연구에서는 자유입자를 사용하여 가공 시 발생 할 수 있는 가공입자(Abrasives)의 비산 및 가공입자 에 의한 환경오염 등을 유발하는 자유 입자 대신 가공입자 고정형 초지립 메탈본드 다이아몬드 슛돌을 이용하여 각종 첨단 난삭재인 초경 재료, 광학유리,화인세라믹스 등을 효율적으로 그리고 가공입자에 의한 환경오염 없이 초정밀 래핑 가공의 달성을 달성하였다.

앞으로는 이러한 연속 전해드레싱을 적용한 초정밀 래핑 전용기를 적용 개발하여, 생산성 향상 및 환경친화적으로 쾌적한 가공이 될 수 있는 연

구 개발이 계속되어야 하겠다.

참고문헌

1. Matsuo.T, Okamura, "Wear Characteristic of General and Superhard Abrasive Grain against Various Hard Materials," Annals of the CIRP, Vol. 30, pp. 233-237, 1981.
2. 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 Vol. 37, No. 12, pp. 1673-1681, 1997.
3. N.Itoh, H.Ohmori "Finishing Characteristic of ELID-lap grinding Using Ultra Fine Grain Lapping Wheel," International Journal of JSPE, Vol. 30, pp. 305 ~ 308, 1997.
4. H.Ohmori, "Electrolytic In-Process Dressing(ELID) Grinding for Ultraprecision Mirror Surface Machining" International Journal of JSPE, Vol. 26, No. 4, pp. 273, 1992.
5. H.Ohmori, T.Nakagawa "Mirror Surface Grinding of Silicon Wafer Using ELID" Annals of the CIRP Vol. 39/1, pp. 329, 1990.
6. N.Itoh and H.Ohmori, "Mirror Surfaces Finishing on Double Sided Lapping Machine with ELID" International conference and general meeting of the european society for precision engineering and nano-technology, pp. 266-269, 1999.
7. 萩生田 善明, 勝比古 "鑄鐵 ボンドダイヤモンド砥石ノ製作,"日本精密工學會誌, pp. 53-108,1987.
8. US Patent, "Apparatus and Method for Mirror Surface Grinding and Grinding Wheel Therefore," Patent Number 5,639,363
9. 유기태, 정해도, 전형일, "흑연의 구상화기구를 이용한 주철본드 다이아몬드 슛돌의 개발," 한국정밀공학회 추계학술대회, pp. 91-94, 1997.
10. H.Ohmori, N.Itoh "Grinding Characteristics of a Metal-Resin Bonded Diamond Wheel on Elid Lap-Grinding" 제20회 ELID연삭 세미나집, pp. 132-138, 1998.
11. 최재영, 이은상, 송지복 "연속 전해드레싱용 래핑지석의 제작 및 전해 특성 평가" 한국정

- 밀공학회추계학술대회집, pp. 914 ~ 917, 2000.
12. 송지복, 이은상, 최재영 “전해 드레싱용 래핑 지석의 개발 및 성능평가” 한국정밀공학회 춘계학술대회집 pp. 858-861, 2000.
 13. 최재영, 이은상, 송지복, 이해동 “전해드레싱을 적용한 세라믹재의 초정밀 래핑 가공에 관한 연구” 한국정밀공학회추계학술대회집, pp. 1220-1223, 1999.
 14. H. Ohmori “ELIDによる固定砥粒らつびんぐ” 제20회 ELID 연삭세미나집 pp. 44 ~ 55, 1998.