

세라믹스의 ELID연삭가공

(Electrolytic in-Process Dressing)-Grinding of Ceramics

大森 整, 片平 和俊 || 大森素形材工學研究所, 理化學研究所

Hitoshi Ohmori, Kazutoshi Katahira || (RIKEN (The Institute of Physical and Chemical Research))

elid@elid.org

Abstract

A novel grinding technology, known as ELID (Electrolytic In-Process Dressing), which incorporates “in-process dressing” of metal-bonded diamond grinding wheels, provides continuous protruding abrasives effectively applied to ceramic grinding. This article describes the ELID-grinding method and introduces its application examples on ceramics

1. 제언

세라믹스 가공에 관해서는 저립가공이 많은 부분을 차지하고 있으나 최근 부유저립에서 고정저립에 의한 가공으로 전환이 시도되고 있다. ELID 연삭법은 초미세저립을 갖는 고강성 저립을 이용하여 세라믹스의 실용적인 경면연삭을 실현하고 고정 저립에 의한 초정밀 가공 수법의 하나로서 적용이 진행되어 왔다. 본 고에서는 그 사례들을 소개한다.

2. ELID 연삭법

1987년에 오몰리에 의해 개발된 ELID 연삭법은 전도성 본드 석면에 전해 인프린트 드레싱을 복합하여 실현된 연삭법이다 (Fig. 1). 본 법은 가공을 하면서 전해에 의한 저석의 전도성 복합재를 용출제거하여 미립저석의 드레

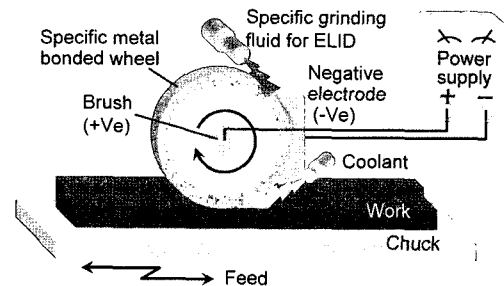


Fig. 1. Principle of ELID-grinding.

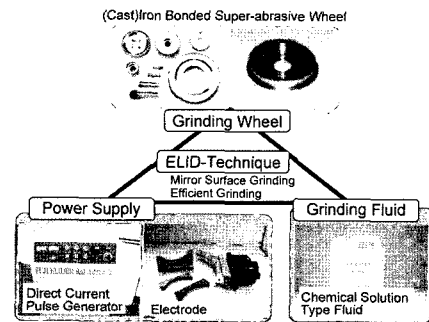


Fig. 2. Composition of ELID-grinding.

싱을 확실히 실현하게 해서 세라믹 등의 경취재료의 초정밀가공을 실현가능하게 한다.

Fig. 2는 ELID연삭법의 구성요소를 나타낸다. 전용의 저석, 전해전원, 연삭액 (및 전극) 전극으로 구성된다. Fig. 3은 ELID기능이 탑재된 관용의 평면연삭반이다. 기존의 연삭반에, ELID 구성요소를 부가하는 것으로 업그레이드 하여 이용 가능하다. Fig. 4는 ELID연삭을 위한 전기적 거동을 나타낸다. Fig. 4에서 ①은 초기전해 드레

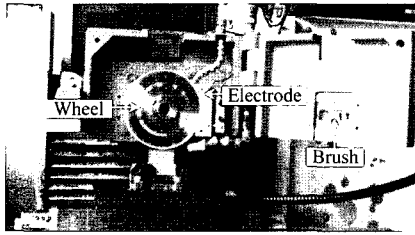


Fig. 3. Surface grinder equipped with ELID.

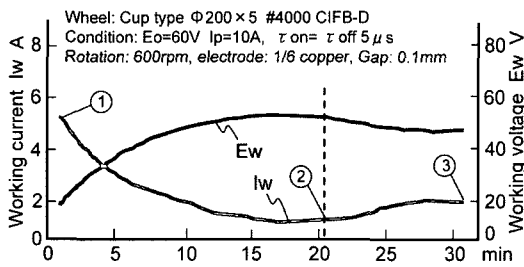


Fig. 4. Electrical behavior on ELID.

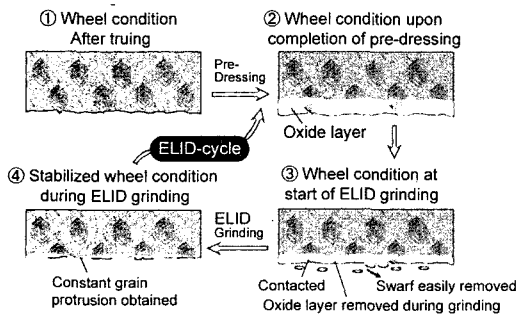


Fig. 5. Mechanism of ELID-grinding.

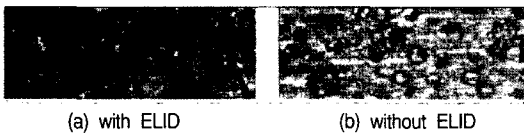


Fig. 6. Difference in wheel surface with and without ELID.

싱 개시 할 때여서 전해 전류가 높다. ②는 전해의 진행과 함께 금속 본드가 수산화물, 산화물부터 형성되는 반도체 피막을 형성 하여 전해 전류가 저하되어 초기 드레싱이 완료된다. ③은 실제로 ELID연삭이 진행되고 있는 상태여서, 반도체 피막이 피가공물과의 접촉으로부터 박리 되어 저석표면의 반도체성이 회복되기 때문에 전류치가 상승하여 안정하다. 이것을 Fig. 5에 나타낸다. Fig. 6은 ELID의 유무에 따른 저석 표면 상태의 상이점을 보여

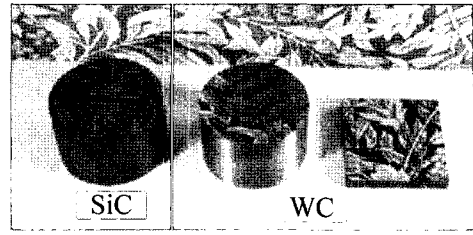


Fig. 7. ELID ground ceramic samples.

준다. ELID에 의해 저립돌출이 유지되고 있다. Fig. 7은 ELID연삭에 따른 탄화 규소 초경합금의 경면가공 샘플을 나타낸다.

3. 세라믹스의 Centerless 연삭 특성

ELID법을 탑재한 centerless 연삭 시스템을 구축하여 (Fig. 8), 세라믹스 부품의 중량가공을 실현하였다. #170을 조연삭, #1200을 중간 마무리 연삭, #4000 또는 #8000을 최종 마무리 연삭에 사용하였다. 본 시스템은 1)플라즈마(PED) 트러링(Fig. 9), 2) 초기전해 드레싱, 3) ELID연삭의 순으로 공정을 실현 한다. Fig. 10은 #2000 및 #4000 저석에 따른 지르코니아 및 질화규소 세라믹스의 인피드

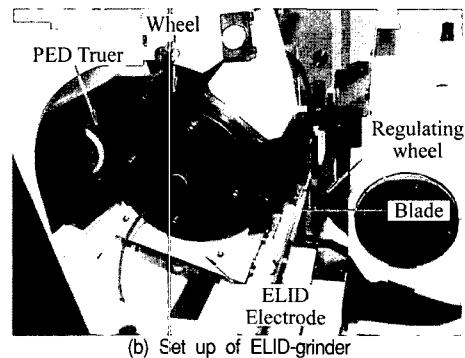
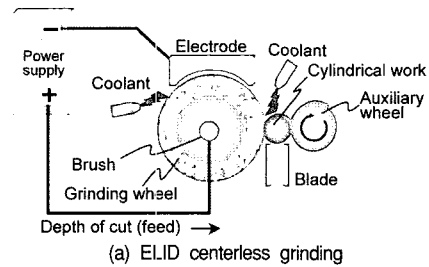


Fig. 8. ELID centerless grinder.

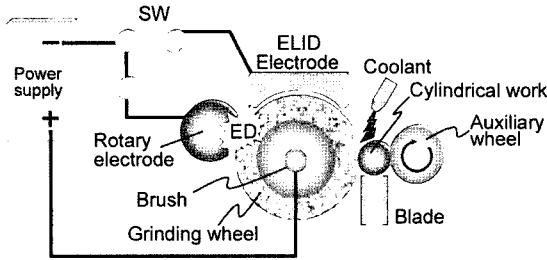


Fig. 9. ELID centerless grinding system with PED truing.

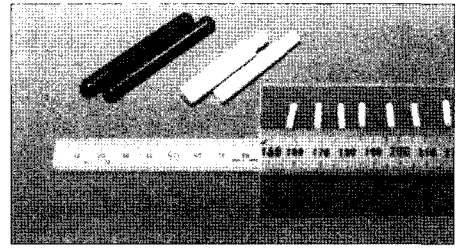


Fig. 12. ELID centerless ground samples.

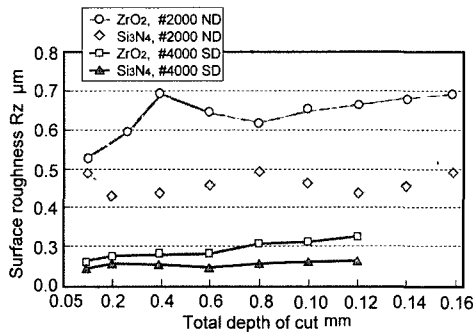


Fig. 10. Surface roughness and total depth of cut.

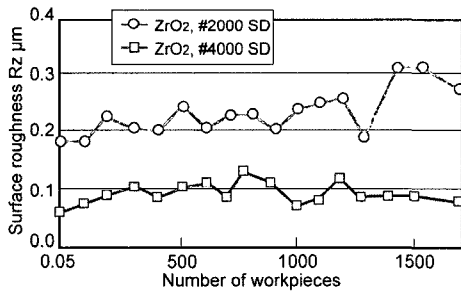


Fig. 11. Surface roughness for grinding number of ZrO₂ ceramics.

방식에서 가공에 따른 세라믹스의 총 스머드는 양과 면 거칠기의 관계를 나타낸다. 질화규소 쪽이 좋은 면의 상태를 나타낸다. Fig. 11은 through-feed 방식에 따른 지르코니아 세라믹스의 가공 거칠기의 변화를 나타낸다. #4000저석에 따른 안정화된 가공면이 실현되어 지고 있다. 1개당의 가공시간은 5초이다. Fig. 12에 질화규소 및 지르코니아 세라믹스의 가공 예를 나타낸다. Table 1은 저석 입도와 면거칠기의 관계를 나타낸다.

Table 1. ELID centerless grinding results(μm) (by through-feed for ZrO₂ ceramics)

	#800	#2000	#4000	#8000
Rz	0.90	0.26	0.066	0.072
Rq	0.40	0.26	0.032	0.054

ELID법을 CG방식에 적용하여 ELID CG 연삭방식을 구면렌즈 금형의 경면가공에 응용하였다. 본 방식에서는 컵저석과 피가공의 회전축이 각도 α 를 갖고 세트되어 ELID연삭이 실시되어 진다(Fig. 13). 얻어진 가공면의 곡률반경은 오목, 볼록면에 대하여 각각 컵저석의 외경, 내경과 기울기각 α 에 의해 결정되어진다. #325, #4000 저석을 각각 조연삭, 마무리 연삭으로 채용하여 ELID CG연삭을 실시 하였다. Fig. 14는 구성된 ELID CG 연삭 시스템을 나타낸다. 탄화규소 세라믹에 대하여 가공조건은 저석회전수 5000min⁻¹, 피가공물 회전수 500min⁻¹, 조, 마무리 투입속도는 각각 30~50μm/min, 4~6μm/min, 스파크아웃을 60초로 하였다. Fig. 15는 가공표면정도를 나타낸다. Ry73nm, Ra3nm라는 좋은 표면이 3~5분 정도의 가공시간에 얻어졌다. 렌즈금형의 경면 가공예를 Fig. 16에 제시하였다.

4. 세라믹스 · 렌즈금형의 ELID 연삭 특성

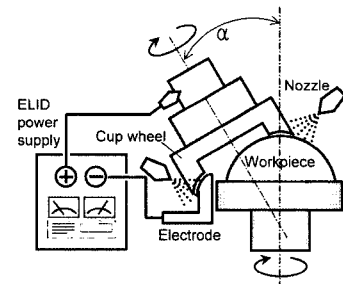


Fig. 13. Schematic of ELID CG grinding.

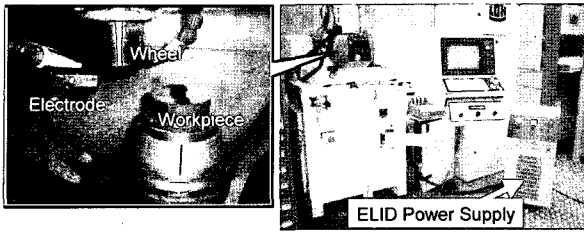


Fig. 14. ELID CG grinding setup.

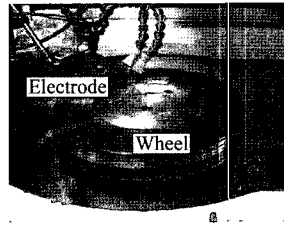
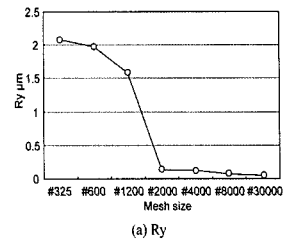
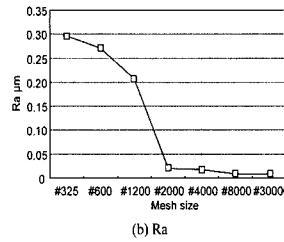


Fig. 17. ELID lap grinding.



(a) Ry



(b) Ra

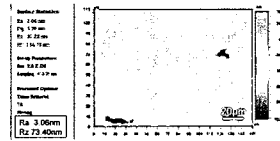


Fig. 15. Surface roughness and topography.



Fig. 16. ELID ground lens mold.

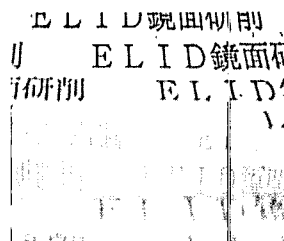


Fig. 19. ELID ground AlN.

Fig. 18. Wheel mesh size and surface roughness.

5. 질화알루미늄세라믹스의 ELID연삭특성

질화알루미늄 세라믹에 대하여 #325, #1200, #2000, #4000, #8000, #30000의 각 저립석을 적용하여 ELID연삭면 품위를 조사 하였다. 가공방식은 Fig. 17에서처럼, 초미립저석에 적용한 lap 방식의 ELID연삭(ELID lap 연삭)을 적용 하였다. Fig. 18은 각가공면 거칠기를 Ry 및 Ra로 하여 나타내고 있다. Fig. 19는 가공면의 상태를 나타낸다. 데이터로부터 #600과 #2000간에 현저한 가공면의 개선이 얻어졌다. Fig. 20은 각가공면의 SEM상을 나타낸다. #325, #600은 입계에서의 파괴가 현저하게 있는 반면, #1200에서는 적어지게 되었다. #2000~#3000 등의 초미립 저석에서는 취성적 표면제거는 없어지게 되어, #1200과 #2000간의 취성-연성전이 존재한다고 생각되어진다. 저석 가공메카니즘은 Fig. 21과 같이 정리되어진다. 연성파괴에 입각하여, 고품위의 가공면을 얻기 위해서는 적어도 #2000이상, 가능하면 #4000이상의 미립저석이 필요하다 생각되어진다.

6. 세라믹스의 초정밀 가공

세라믹의 초정밀 가공의 예로써, 단파장의 펄스레이저에 따른 연X선발생시스템용의 탄화 규소 집광 밀러의 개발이 있다. 본 예는 ELID를 탑재시킨 초정밀 비구면 가공 시스템

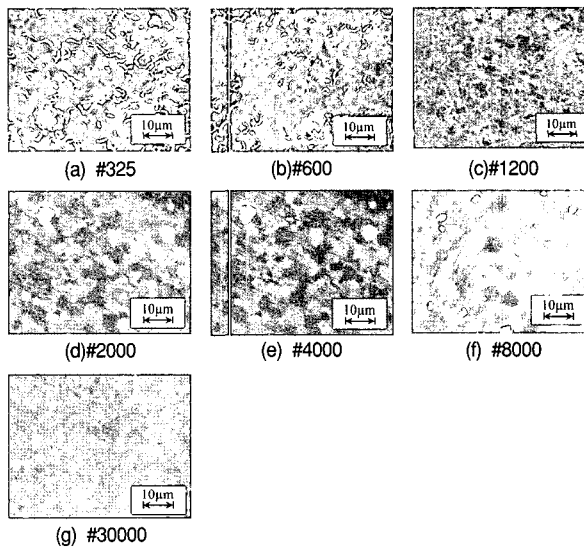


Fig. 20. SEM images of ELID ground surfaces.

를 개발하여, 가공기상에서 계측을 병용하는 것으로 형상 정도와 면거칠기 정도를 양립시키는 것이 가능하다. ELID연삭에 의해, 초미립저석의 뛰어난이 계속되는 것으로부터 충분한 가공면 거칠기가 달성 및 완성화가 가능하고, 가공기상에서 형상정도를 계측하여 현상오차를 NC프로그램에 피드백하는 것으로 형상정도를 설계값에 근접하도록 하는 것이 가능하다. 가공의 양상을 Fig. 22에 가공예를 Fig. 23에 가공기상계측의 양상을 Fig. 24에 보여주고 있다.

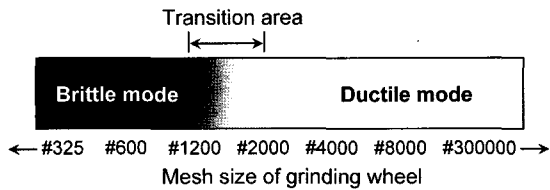


Fig. 21. Wheel mesh size and Removal mechanism.

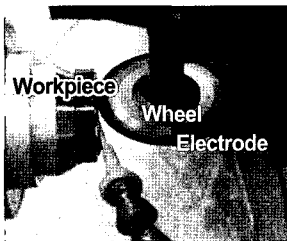


Fig. 22. Ultraprecision ELID aspherical grinding.

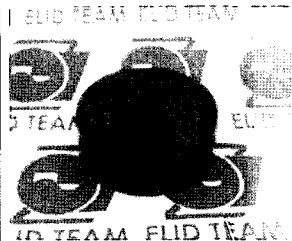


Fig. 23. ELID ground mirror.

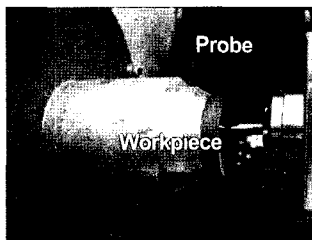


Fig. 24. On-machine measurement.

7. 결론

본 고에서는 ELID연삭법의 원리를 해설함과 동시에 몇가지 방식에 따른 세라믹스의 ELID연삭 특성 및 가공 사례를 주로 소개 하였다. 본 연삭법은 이화학 연구소가 보유하고 있는 지적재산의 라이선스를 기본으로 하여 이화학연구소벤처가 중심이되고, 실용화 및 보급이 진행되고 있다는 것을 부가적으로 기술한다.

참고문헌

1. Ohmori, H., and Nakagawa, T., "Mirror Surface Grinding of Silicon Wafers with Electrolytic In-Process Dressing," *Annals of the CIRP*, 39[1], 329-32 (1990).
2. Ohmori, H., "Electrolytic In-Process Dressing (ELID) Grinding Technique for Ultra Precision Mirror Surface Machining," *International Journal of JSPE*, 26[4], 273-78 (1992).

3. Ohmori, H., and Nakagawa, T., "Analysis of Mirror Surface Generation of Hard and Brittle Materials by ELID (Electrolytic In-Process Dressing) Grinding with Superfine Grain Metallic Bond Wheels," *Annals of the CIRP*, 41[1], 287-90 (1995).
4. Ohmori, H., Takahashi, I, and Bandyopadhyay, B.P., "Ultra precision Grinding of Structural Ceramics by Electrolytic In-Process Dressing (ELID) Grinding," *Journal of Materials Processing Technology*, Elsevier, 57, 272-77 (1996).
5. Ohmori, H., Takahashi, I, and Bandyopadhyay, B.P., "Highly Efficient Grinding of Ceramic parts by Electrolytic In-Process Dressing (ELID) Grinding," *Materials and Manufacturing Processes*, Marcel Dekker, 11[1] 31-44 (1996).
6. Ohmori, H., and Nakagawa, T., "Utilization of Nonlinear Conditions in Precision Grinding with ELID (Electrolytic In-Process Dressing) for Fabrication of Hard Material Components," *Annals of the CIRP*, 46[1], 261-64 (1997).
7. The Nexsys Corporation Home Page: <http://www.nexsys.org>

●● 大森 整 (오오모리 히토시)



- 1991년 3월 동경대학 대학원 공학계 연구과 박사졸업, 공학박사, 동년 4월 이화학연구소 연구원
- 2001년 4월 이화학연구소 소원재공학연구소실 주임연구원
- 2002년 4월 사이타마대학 객원교수 병임
- 2004년 4월 독립행정법인 이화학연구소 중앙연구소 오오모리 소원재 가공연구소실 주임연구원.

●● 片平 和俊 (카타히라 카즈토시)



- 2000년 3월 이바라키대학 대학원 이공학연구과 박사과정 수료, 공학박사,
- 현재 4월 이화학연구소 연구원.