

경취 재료의 ELID(Electrolytic In-Process Dressing) 경면 연삭 절단에 관한 연구

*김화영(부산대 기계기술연구소), 안중환(부산대 기계공학부),
大森 整(日本理化學研究所), 山本 幸治((株)マルト-)

ABSTRACT

A slicing method by thin diamond blade is widely used for slicing of hard and brittle materials such as ceramics, glass and ferrite etc.. In this study, a new slicing system which realizes highly efficient and mirror surface slicing was developed by applying ELID-grinding with metallic bond diamond blades and its performance was evaluated. Hard and brittle materials such as ceramics, glass and ferrite were used as workpiece. Metallic bond diamond blades with grit sizes #325 and #2000 were used. Experimental results show that highly efficient slicing and good mirror surface can be successfully obtained using the developed slicing system with ELID features.

Key words : Mirror Surface Slicing(경면 절단), Electrolytic In-Process Dressing(ELID) Grinding, Metallic Bond diamond Blade(메탈 본드 다이아몬드 숫돌), Hard and Brittle Material(경취 재료)

1. 서론

최근 기계부품의 경량화, 내마열화, 장수명화에 대한 요구 및 반도체, 광학 기기의 발달과 더불어 세라믹스, 실리콘, 유리, 석영 등 경취 재료의 사용이 급증하고 있으며 이에 따라 이들 재료에 대한 보다 효율적인 절단 가공 기술 개발에 대한 필요성이 증가하고 있다¹⁾. 현재 경취 재료의 정밀 절단 및 흙 가공에는 박인형 연삭 숫돌(thin blade)에 의한 절단 가공법이 널리 이용되고 있다. 일반적으로, 연삭 절단에는 눈 막힘 문제 때문에 숫돌 입도가 #80~#200 인 조립(粗粒)숫돌을 이용하는 경우가 대부분이며 따라서 보다 고정도한 절단면을 얻기 위해서는 래핑, 폴리싱 같은 유리입자 가공을 수행하여야 한다. 하지만 유리입자 가공의 경우 생산성이 낮고 연마제(슬리지)에 의한 환경 오염 등의 문제가 있으므로 가능한 한 절단 가공 단계에서 후공정이 거의 필요 없는 고품위 절단면을 얻는 것이 좋다. 연삭 절단에서 경면 상태의 고품위 절단면을 얻기 위해서는 미립(微粒) 숫돌을 이용하여 절단 가공을 수행해야 한다. 본 연구에서는 경취 재료의 효과적인 경면 연삭 법으로서 우수한 성능이 입증되어 있는

ELID(Electrolytic In-Process Dressing)연삭법²⁾을 절단 가공에 적용하여 보다 안정된 상태에서 고정도 고능률 절단 가공을 실현하는 ELID연삭 절단 시스템을 개발하였으며, 경면 절단 효과를 포함한 고정도 고능률 가공 특성에 대하여 조사하였다.

2. ELID연삭 절단 가공법

2.1 원리

본 연구에서 제안한 “ELID연삭 절단 가공법”^{3,4)}은 박인형 메탈본드 숫돌의 본드재 만을 미약한 전기분해에 의해 이온화시키는 것으로 가공중 숫돌 입자의 돌출을 유지시키는 연삭법이다. 그림 1은 ELID연삭 절단 가공법의 원리를 나타낸다. 그림1과 같이 숫돌 자체를 (+)전극으로 하고 (-)전극 어태치먼트를 숫돌 면에 대향해서 배치한 뒤, 그 틈새(약 0.1mm) 사이로 전기 전도성이 있는 수용성 연삭액을 흘리고 양 전극 사이에 전압을 걸어주면 전해 작용으로 인해 숫돌 표면에 산화막이 생성되는데 이 산화막은 부도체이기 때문에 어느 정도까지 피막이 성장하면 산화의 진행이 멈춘 채 일정한 피막 두께로 유지된다. 한편 가공과 함께 피막이 제거되면 다시 자동적으로 산화가 진행되어 피막 두께를 제어한다. 이것에 의해 숫돌의 연삭 성능을 일정하게 유지시킬 수 있기 때문에 고정도한 절단가공이 가능하다.

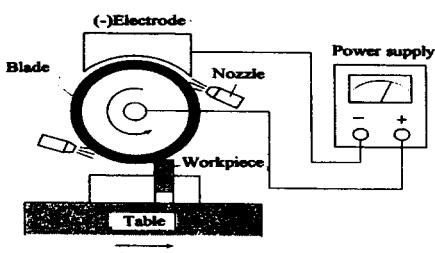


Fig. 1 Principle of ELID-grinding slicing

2.2 전기적 거동

그림 2는 박인형 메탈본드 숫돌의 초기 전해 드레싱 시의 전기적 거동을 나타낸다. 초기 드레싱 개시 시, 전기 전도성이 좋기 때문에 전류는 약 1.2A가 흐르나 숫돌 표면에 부도체 괴막이 성장함과 더불어 전기 전도성이 나빠져서 20분 후 전류가 약 0.2A까지 감소한다. 연삭 절단의 경우, 숫돌 폭이 얇기 때문에, 평면 연삭과 비교해서 전류가 적게 흐른다.

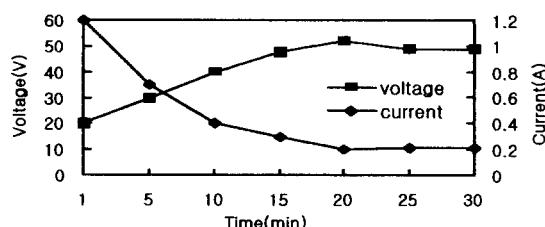


Fig. 2 Electrical behavior of ELID-grinding

연삭 절단의 경우, 최종적인 절단면은 숫돌 측면의 다듬질 작용에 의해 얻어지므로, 숫돌 측면의 전해 효과가 중요하다. 그림 3은 전해 드레싱 전후에서 숫돌 측면의 표면 상태를 나타낸다. 그림3(b)의 경우, 밝게 빛나는 부분이 다이아몬드 숫돌 입자로 전해 효과로 인해 잘 둘출 되어져 있음을 나타낸다.



(a) before dressing

(b) after dressing

Fig.3 Texture of wheel surface

3. 실험 장치 및 방법

3.1 실험장치

표1은 실험에 사용한 시스템 사양을 나타낸다. 사용한 가공기계는 연삭 절단기 DYNAMICRON MC-615로, 이 기계 본체에 전용 ELID 전극과 전원 장치 등을 장착하여 ELID연삭 절단기로 사용하였다. ELID전원장치는 FUJI ELIDER ED-910을 이용하였다. (-)전극 어태치먼트는 동으로 만들었으며 숫돌 원주의 1/5 크기로 하였다. 절단 숫돌은 박인형 주철 본드 다이아몬드 숫돌을 사용하고, 연삭액은 수돗물로 50배 희석시킨 AFG-M 수용성 연삭액을 사용하였다. 표2는 실험에 사용한 ELID절단가공 조건을 나타낸다.

Table 1 Specifications of ELID grinding slicing experiment system

Slicing machine	DYNAMICRON MC-615 [MARUTO Co.]
Slicing blades	Metallic bond diamond blade [Fuji Dies Co.] grit size : #325, #2000,(Φ150×w1.5mm)
Power supply	FUJI ELIDER ED-910 [Fuji Dies Co.]
Workpiece	ZrO ₂ , Quartz glass, Al ₂ O ₃ -Tic Tungsten carbide(WC-Co), Si ₃ N ₄ , ferrite
Fluid	AFG-M+tap water(2% dilution of water) [Noritake Co.]
Others	Surface measuring instrument : SURFTEST 501 [Mitutoyo Co.] Video-microscope : OVM1000NM [Olympus Co.]

Table 2 Slicing conditions used for experiments

Conditions Workpiece \	Spindle speed (rpm)	Feedrate (mm/min)	Depth of cut(mm)	Mesh size(#)
ZrO ₂	2500	0.5	7	2000
Si ₃ N ₄	2800	2.0	2	325
Quartz glass	2500	1.0	10	2000
Ferrite	2500	2.0	10	2000
Al ₂ O ₃ -TiC	2500	1.0	7	2000
WC-Co	2500	1.0	5	2000

ELID condition : Eo 60V, Ip 10A, $\tau_{on/off}$ 2 μ s

3.2 실험방법

#325숫돌에 의한 통상 연삭 절단과 ELID 연삭 절단을 수행하고 로드셀로 연삭저항을 측정하여 ELID 연삭 절단의 고능률성과 안정성을 평가하였다. 또한 ELID연삭 절단법의 경면 절단효과를 포함한 고정도

가공 효과에 대해 조사하기 위해서, #2000 수들을 이용해서 경면 연삭가공을 수행하고, 접촉식 표면 조도 측정기와 비디오 마이크로 스코프로 절단면의 가공면 품위를 측정하였다. 칩핑이 일어나기 쉬운 취성 재료를 공작물로 사용하는 경우에 많이 적용되는 크리피드 연삭 방식으로 절단가공을 수행하였다.

4. 결과 및 고찰

4.1 고능률 ELID 절단의 안정성

#325수들에 의한 고능률 ELID 절단가공의 안정성을 조사하기 위하여, 통상 연삭 절단과 ELID 연삭 절단을 수행하고 로드셀로 연삭저항을 측정하였다. 그림 4는 질화규소(Si_3N_4)의 흠 가공시 각 연삭법에 의해 얻어진 법선 방향 절단저항의 차이를 나타낸다. ELID 절단의 경우, 통상 절단과 비교해서 절단 저항이 약 25% 감소됨을 알 수 있다. 또 통상 절단의 경우, 절단 길이의 증가와 함께 절단 저항이 급격히 증가하나 ELID 절단에서는 수들 입자의 돌출이 연속으로 유지되기 때문에 양호한 안정성을 나타낸다. 이 결과로부터 ELID 절단 쪽이 통상 절단보다 능률적이고 안정된 절단가공이 가능하다는 것을 알 수 있다.

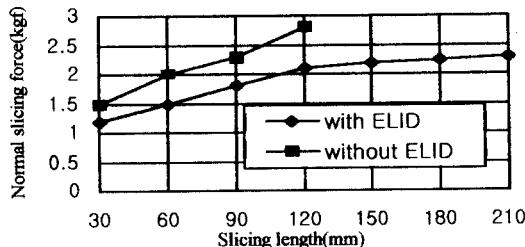


Fig. 4 Difference in normal slicing force by ELID

4.2 ELID 절단의 경면 절단 효과그림 9

그림 5는 #2000 수들을 이용한 석영의 절단 가공시 각 절단법에 의해 얻어진 절단면 품위를 나타낸다. 통상 절단에서는 수들 입자가 돌출 안된 상태에서 연삭면과 수들 본드재 사이의 직접 접촉에 의해, 취성 파괴를 일으키면서 가공이 진행되나, ELID를 적용하면 미세수들 입자의 돌출이 효과적으로 얻어지기 때문에 연삭면에서의 제거가 부드럽게 되어 연성모드 제거로 천이 함을 알 수 있다. 그림 6은 #2000 수들을 이용한 석영의 흠 가공시 얻어진 흠 예지부의 사진으로 ELID효과에 의해 절단 저항을

낮게 유지시킬 수 있기 때문에, ELID 연삭절단에 의해 칩핑이 없는 깨끗한 절단면을 얻을 수 있음을 보여준다.

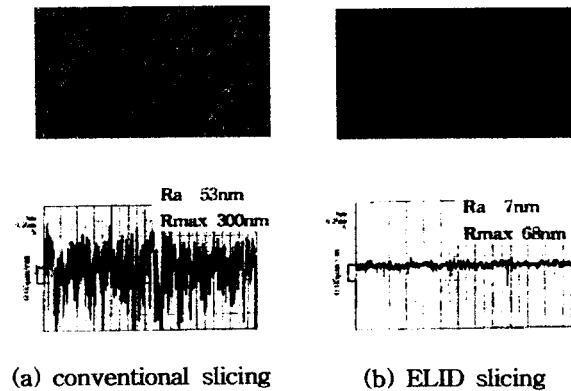


Fig. 5 Difference in slicing surface quality

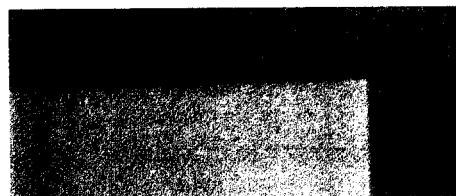


Fig. 6 Edge of sliced surface without chipping (1000 times)

4.3 경취 재료의 경면 연삭절단

그림7은 #2000수들에 의한 다양한 경취 재료의 절단 가공시 얻어진 절단면의 표면 조도를 나타낸다. 연삭 절단의 경우, 절단면의 표면 조도가 R_{max} 100nm이하를 경면 절단이라 한다. 알루티크 (Al_2O_3 -TiC)의 경우, 재료의 피삭성이 비교적 양호 하므로 R_{max} 45nm의 양호한 절단면을 얻을 수 있었다. 초경의 경우, 재료의 특성상 연삭 침이 수들면에 부착되기 쉽기 때문에, 통상 연삭에서는 눈막힘 때문에 지속적인 다크질 연삭이 곤란하나, ELID연삭절단에서는 ELID 효과로 인해 눈막힘을 방지되어 효율적인 가공이 가능함을 나타낸다. 초경의 경우 R_{max} 37nm의 양호한 절단면이 얻어졌다. 지르코니아 세라믹스(ZrO_2)의 경우, 절입깊이가 다소 크므로 인해, R_{max} 169nm인 절단면이 얻어졌다. 페라이트의 경우 R_{max} 50nm의 양호한 절단면이 얻어졌다.

그림 8은 알루미늄의 ELID 절단에 있어서 절단면 길이 방향의 절단 형상 정도를 나타낸다. 숫돌의 탄성 변형등에 의해 다소의 흔들림이 있으나, $1\mu\text{m}$ 이내의 양호한 형상정도의 실현이 가능함을 보여준다. 그림 9는 절단 가공된 샘플의 사진이다.

5. 결론

본 연구에서는 경면 절단가공이 실현 가능한 ELID 경면연삭 가공법을 제안하고, 경면 절단 효과를 포함한 고정도 고능률 가공 특성에 대해 조사하였다. 그 결과 다음과 같은 결과를 얻을 수 있었다.

- 1) 조립 숫돌을 이용한 ELID 절단에 의해 통상 절단에 비해 능률적이고 안정적인 가공을 실현할 수 있었다.
- 2) 미립 숫돌을 이용한 ELID 절단에 의해 후공정이 거의 필요 없는 고품위 절단면을 얻을 수 있었다.

6. 참고문헌

- 1) 石川憲一, 硬脆材料の高能率・高精度スライシング加工, アイピーシー, (1995) 3.
- 2) 大森 整, “超精密鏡面加工に對應した電解インプロセスドレッシング(ELID)研削法”, 精密工學會誌, 59, 9 (1993) 1451.
- 3) 金華榮, 大森 整, 山本幸治 “ELID研削切斷機の開発および適用効果(第2報)”, 1997年度精密工學會春季講演論文集, (1997) 1099.
- 4) H.Y.Kim and H.Ohmori, "Development of Mirror Surface Slicing Machine Installed with Grinding System Using Metallic Bond Diamond Blades and Electrolytic In-Process Dressing(ELID)", Proceedings of the 8th International Conference on Production Engineering(ICPE), Sapporo,(1997) 252

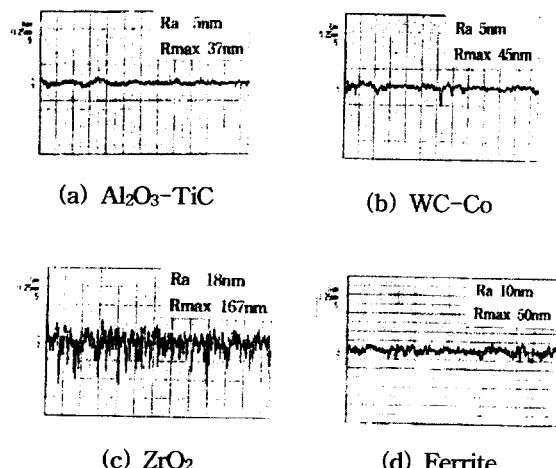


Fig. 7 Slicing surface roughness of various materials by ELID slicing



Fig. 8 Shape accuracy of sliced surface

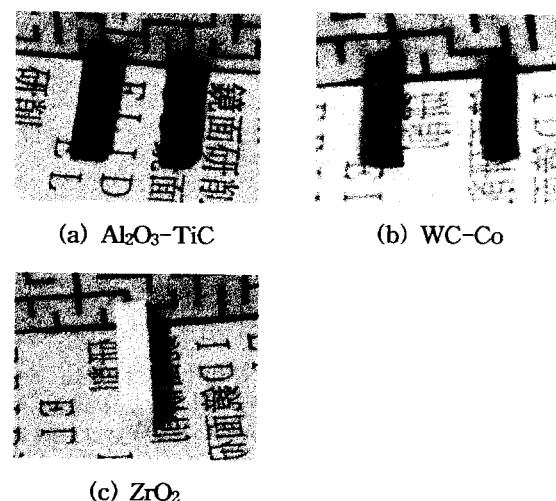


Fig. 9 Examples of mirror surface slicing