

자기연마를 이용한 ELID 연삭면의 나노경면연마

이용철*(연암공업대학), 곽태수(요업(세라믹)기술원)

安齊 正博, 大森 整(이화학연구소(일))

Nano-level mirror finishing for ELID ground surface using magnetic assisted polishing

Y. C. Lee(Yonam Institute of Digital Tech.), T. S. Kwak(Korea Institute of Ceramic Eng. and Tech.),

M. Anzai, H. Ohmori(The Institute of Physical and Chemical Research, Japan)

ABSTRACT

ELID(Electrolytic In-process Dressing) grinding is an excellent technique for mirror grinding of various advanced metallic or nonmetallic materials. A polishing process is also required for elimination of scratches present on ELID grinded surfaces. MAP(Magnetic Assisted Polishing) has been used as a polishing method due to its high polishing efficiency and to its resulting in a superior surface quality.

This study describes an effective fabrication method combining ELID and MAP of nano-precision mirror grinding for glass-lens molding mould, such as WC-Co, which are extensively used in precision tooling material. And for the optics glass-ceramic named Zerodure, which is extensively used in precision optics components too.

The experimental results show that the combined method is very effective in reducing the time required for final polishing. The best surface roughness of the polished glass-ceramic was within 1.7nm Ra in this study.

Key Words : Magnetic Assisted Polishing(자기연마), ELID(Electrolytic In-process Dressing) Grinding(ELID 연삭), Mirror Surface Polishing(경면연마), Nano-level Machining(나노가공)

1. 서론

고도정보산업의 발달에 따라 전자/광학부품이나 이들과 관련된 금형 등의 제품품질향상의 요구가 점점 더 엄격해지고 있으며, 가격경쟁도 치열해지고 있다.

특히, 수요가 늘어나고 있는 광학렌즈 등의 성형금형가공기술에는 나노레벨 경면가공과 함께 가공효율 향상에 대한 요구도 더욱 거세지고 있는 실정이다. 유리렌즈 금형재료는 초경합금이 많이 사용되고 있으며, 초경합금은 고경도로 내식성, 내마모성이 우수하기 때문에 고강도, 장수명을 요구하는 공구재와 금형재료 널리 사용되고 있다. 그러나 가공성이 좋지 않으므로 가공품질과 가공능율을 동시에 만족하기에는 많은 어려움이 있다.

ELID(Electrolytic In-process Dressing) 연삭법은¹⁻⁵⁾

이 같은 경질재료와 난삭성재질에 대해서 나노레벨의 경면가공이 가능한 방법으로 실용화⁶⁻⁸⁾되었다. 한편 자기연마법⁹⁻¹⁰⁾은 결삭이나 연삭가공 후의 가공흔을 제거하는 연마가공은 물론 미소 버거가공(Deburring)에도 매우 효율적인 가공법으로 알려져 있어, 금형의 최종 경면 다듬질공정의 적용이 기대되고 있다.

본 연구에서는 ELID 연삭법과 자기연마법의 조합에 의해 효율적인 나노레벨 경면가공의 실현성에 대해서 검토하였다.

사용된 시편의 재질은 유리성형금형 등에 많이 쓰이는 초경합금과 열팽창계수가 거의 제로에 가까워 초정밀 광학부품으로 널리 쓰이고 있는 Glass-ceramic 재질인 Zerodure를 사용하였다.

초경합금과 Zerodure의 두 경우 모두 기초연구 단계로 평면에 대해서만 실험하였다. 이들 시편들

을 가지고 나노레벨경면까지의 결과를 얻기 위해서 ELID 연삭만을 이용하였을 경우와 ELID 연삭과 자기연마를 조합한 가공을 이용하였을 경우에 대해서 표면정밀도 변화와 가공효율을 비교 검토하였다.

2. 실험장치와 실험방법

2.1 초경합금의 나노경면가공 실험

본 연구에서는 금형재료인 초경합금(WC-Co(CO:18%함유), 경도 HRA93.5)에 대해서 메탈본드 미립다이아몬드숫돌을 이용하여 ELID 연삭을 실시한 후 자기연마법을 적용하여 다듬질가공을 실시하였다. 실험조건마다 가공표면조도를 3 차원표면구조해석현미경(NewView5032, Zygo)으로 측정하였다.

본 실험에 사용된 로타리인피드연삭반의 ELID 연삭의 모형도와 연삭조건을 Fig.1 과 Table 1 에 각각 나타내었다.

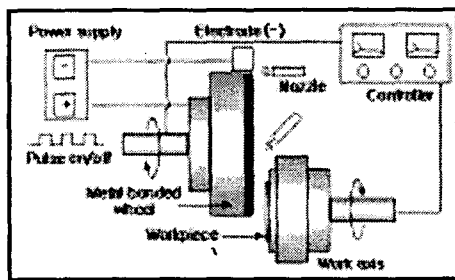


Fig. 1 Schematic diagram of ELID grinding

Table 1 Experimental conditions for ELID grinding

Grinding machine	Surface Grinder (GS-CHF, KURODA)	Rotary infeed type grinder (HGS-10A, ACHI)
Grinding wheel	Cast iron bonded diamond wheel, $\phi 150\text{mm} \times 10\text{mm}$, #325, #1200, #4000,	Cast iron bonded diamond wheel, Cup form, $\phi 143\text{mm} \times 3\text{mm}$, #1200, #2000, #4000, #8000
ELID conditions	Ip10A, Eo90V, τ on/off 2 s	Ip10A, Eo60V, τ on/off 2 s
Grinding conditions	Wheel rev.: 1200 / 2000 rpm, Grinding depth : 0.5 - 3 mm Pitch : 0.5-3mm	Wheel rev. : 1500 rpm, Workpiece rev. : 500 rpm, Wheel federate : 1.0-3.0 mm/min

Fig. 2 에는 자기연마의 원리와 실험사진을 나타내고 있으며, Table 2 에는 자기연마실험 조건을 표시하였다. 렌즈금형에서 요구되는 가공표면조도의 목표치를 2nmRa 전후로 상정하고, ELID 연삭과 자기연마에 의한 복합프로세스의 공정을 결정하기 위해 예비실험으로서 동일입도에서의 연삭 능력의 영향을 검토하였다.

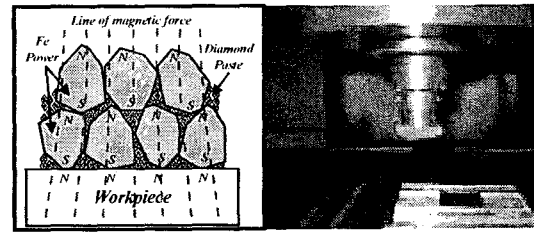


Fig.2 Schematic Diagram of MAP and external view

Table 1 Experimental conditions for MAP

MAP tool	Diameter : 12mm, Flat & Slit Type
Magnetic abrasive	Iron powder Diameter : 38 μm - 75 μm Diamond paste : #8000, #14000
MAP conditions	Tool revolution : 2000rpm Gap : 0.8-1.0mm Feedrate : 50mm/min, 100mm/min

Table 1 의 평면연삭조건으로, 연삭실험을 수행하여 전후이송속도(Pitch)가 표면조도에 미치는 영향을 확인하고 자기연마 후의 표면조도를 측정하였다. 연삭면의 자기연마는 1 회에서 6 회까지 매회 자기연마 후의 표면조도를 측정하였다.

한편, 숫돌입도는 연삭면의 표면조도를 결정하는 주요인이므로 복합프로세스의 전체가공효율과 깊은 관련이 있다. 따라서 입도가 다른 숫돌로 연삭한 공작물에 대한 자기연마특성의 차이를 검토하기 위해 로타리인피드 연삭반에서 입도가 다른 숫돌로 연삭한 공작물을 제작하여 실험하였다. 각 연삭면에 대하여 연삭흔(研削痕)이 효율적으로 제거가 되고 표면조도가 2nmRa 전후까지 얻어지는 연마조건을 구하기 위해 실험을 수행하였다. 이렇게 얻어진 연마조건을 기초로 연마시간을 결정하고 연삭시간과 연마시간의 합을 전체의 복합프로세스에 필요한 가공시간으로 하여 가공효율을 검토하였다

2.2 Zerodure 의 나노경면가공 실험

본 연구에 사용된 Glass-ceramic 재인 Zerodure 에 대해서 ELID 연삭과 자기연마의 복합프로세스를 적용하여 나노경면연마의 가능성을 검토하였다.

ELID 연삭조건은 Table 3 과 같으며, 사용된 연삭숫돌은 #1200, #2000, #4000 세 종류이다. 각각의 숫돌에 대해서 6 개의 시편을 제작하여 자기연마실험을 수행하였다.

자기연마는 Table 4 에 나타난 바와 같이 프로세스 1 은 철분말과 산화세륨(CeO_2), 프로세스 2 는 철분말과 다이아몬드페이스트, 그리고 프로세스 3 은 철분말과 다이아몬드페이스트, 산화세륨을 자기연마제로 사용하였다. 연마시간은 2, 4, 6, 8, 10 분간 각 프로세스에 대해서 실시하고 표면조도를 각각에 대

해서 모두 측정하였다.

Table 3 Experimental conditions for ELID grinding

Grinding machine	Rotary infeed type grinder (HGS-10A, NACHI)
Grinding wheel	Cast iron bonded diamond wheel, Cup form, $\phi 143\text{mm}$? 3mm, #325, #1200, #2000, #4000
Grinding conditions	Wheel revolution : 2,000 rpm, Workpiece revolution : 300 rpm, #325 : Feed : 10 m/min, Depth : 50 m #1200 : Feed : 10 m/min, Depth : 50 m #2000 : Feed : 10 m/min, Depth : 50 m #4000 : Feed : 10 m/min, Depth : 50 m

Table 4 Experimental conditions for MAP

MAP tool	Diameter : 25mm, Flat & Slit Type
Magnetic abrasive	Iron powder Diameter: 38 m, 38 m-75 m CeO ₂ , Diamond paste : #8000, #14000
MAP conditions	Tool revolution : 500rpm Gap : 0.8mm, Magnetic flux density : 1T MAP time : 2, 4, 6, 8, 10min Process 1 : Fe powder + CeO ₂ Process 2 : Fe powder + Diamond paste Process 3 : Fe powder + CeO ₂ + Diamond paste

3. 실험결과 및 고찰

3.1 초경합금의 나노경면가공

Fig. 3 에 #1200 슷돌로 연삭한 연삭기의 전후이송속도가 연삭면조도에 미치는 영향을 표시하였다. 전후이송속도가 0.5mm의 경우는 63nmRa가 얻어졌고, 전후이송속도가 커짐에 따라 표면조도는 커져서 3mm 피치의 경우는 102nmRa가 되었다.

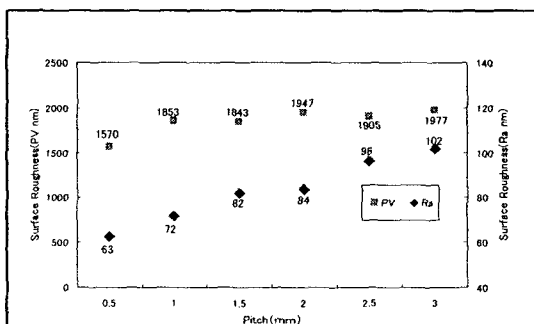


Fig. 3 Surface roughness variation according to pitch

Fig. 4 에는 연마횟수에 따른 표면조도의 변화를 나타내었다. Fig.4 에서 알 수 있듯이 3 회의 연마로 90% 이상 연마가 이루어짐을 알 수 있다. 피

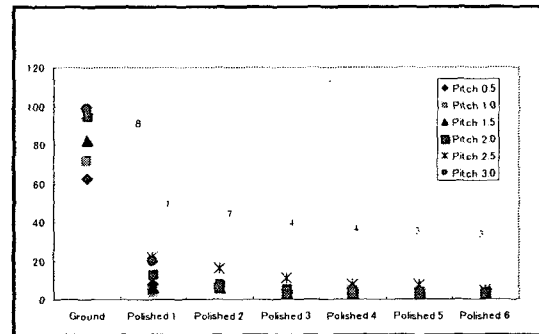


Fig. 4 Surface roughness variation according to Polishing times

치의 차이로 연삭능율(피치)의 차이가 있지만 6 회의 연마로 2nmRa가 얻어졌고 그 이상의 연마에서는 연삭능율이 현저히 떨어짐을 알 수 있다. Fig. 5 에 #1200 슷돌로 연삭한 면과 자기연마 후의 표면조도를 3 차원 표면구조해석현미경으로 분석한 결과를 나타내었다.



Fig. 5 Oblique plots of the ground & polished surface

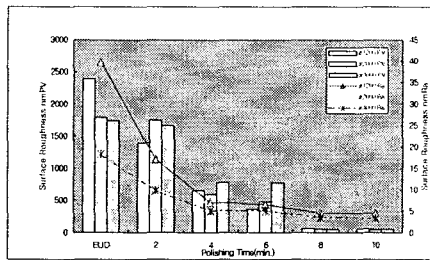
본 연구에서 제안된 복합프로세스의 추가공효율에 대해서 검토한 결과를 Table 5 에 나타내었다. Table 5 에 표시한 바와 같이 ELID 연삭만의 복수공정을 행하는 경우와 ELID 연삭+자기연마를 이용한 복합프로세스로 구분하여 표면조도 2nmRa 부근까지 이르는 추가공시간을 계산하였다. 이 때 셋업시간은 제외하고 순수가공시간만을 고려하였음에도 ELID 연삭만의 공정보다 ELID 연삭+자기연마의 복합프로세스가 전체적으로 고능율적인 것을 확인하였다.

Table 5 Comparison with total machining time(2nmRa)

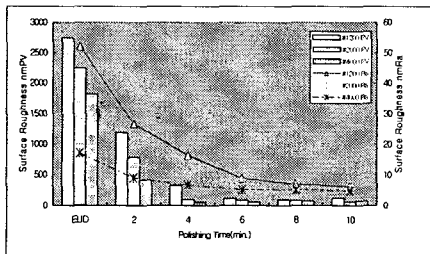
ELID grinding		Combined process	
Process	Time	Process (ELID→MAP)	Time
#325/60μm :20 Or #1200/30μm :15 #2000/30μm :15 #8000/20μm :15 (Mesh No./Depth :Time)	50 min	A #325→#1200 :35min MAP3times : 3min	38 min
		B #325→#2000 :35min MAP2times : 2min	37 min
		C #325→#1200→#400 :45min MAP3times : 2min	47 min

3.2 Zerodure 의 나노경면가공

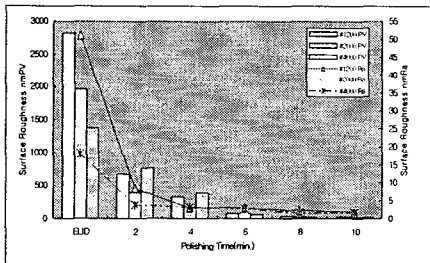
Fig. 6 에 ELID 연삭면과 본 실험에 사용된 연마재의 종류에 따른 실험결과를 나타내었다.



Fe powder + CeO₂



Fe powder + Diamond paste



Fe powder + CeO₂ + Diamond paste

Fig. 6 Surface roughness variation according to the abrasives & polishing time

Fig.6 에서 보는 바와 같이 표면조도는 연마재의 종류와 연마시간에 큰 영향을 받고 있음을 알 수 있다. 연마재가 다른 세 종류의 복합프로세스 중에서 CeO₂ 과 다이아몬드페이스트를 혼합사용한 프로세스 3 이 1.7nmRa 로 가장 연마효율이 좋은 것으로 나타났다. 이것은 다이아몬드의 높은 연마효율과 CeO₂ 의 강산성으로 인한 부식작용이 동시에 작용하여 연마효과를 높인 것으로 판단된다. 연삭시의 숫돌입도는 #1200, #2000, #4000 으로 달랐지만 10 분간의 자기연마로 2nmRa 이내의 표면조도를 얻을 수 있는 고성능의 ELID 연삭과 자기연마의 복합가공 프로세스임을 증명할 수 있었다.

4. 결론

초경합금재와 Glass-ceramic 재인 Zerodure 를 소재로 ELID 연삭법과 자기연마법을 조합하여 나노레벨의 경면가공 실험을 실시한 결과, 가공시간 및 공정수를 단축시키는 것은 물론 고정숫돌의 연삭흔을 쉽게 제거하여 고품위의 나노경면을 효율적으로 얻을 수 있음을 실증하였다.

참고문헌

1. H.Ohmori, and T.Nakagawa: Mirror Surface Grinding of Silicon Wafer with Electrolytic In-process Dressing, Annals of the CIRP, 39 1(1990), 329-332.
2. 大森 整: 超精密鏡面加工に對した電解インプロセスドレッシング(ELID)研削法, 精密工学会誌, 59, 9, (1993)1451-1457. ;
3. H.Ohmori, and T.Nakagawa: 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, 44, 1(1995), 287-290.
4. H.Ohmori, and T.Nakagawa: 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(1997) 261-264.
5. 大森 整: ELID 研削加工技術-基礎開發から実用ノウハウまで-, 工業調査会 (2000).
6. H.Ohmori, K.Katahira, J.Nagata, M.Mizutani, and J.Komotori: Improvement of Corrosion Resistance in Metallic Biomaterials by a New Electrical Grinding Technique, Annals of the CIRP, 51, 1 (2002), 491-494.
7. 前濱文人, 水谷正義, 小茂鳥潤, 片平和俊, 渡彦裕, 大森整, 清水智行, ELID 研削を施した超硬合金の表面性状の評価, 2003 年度精密工学会春季大会學術講演會講演論文集, (2003), 276
8. 片平和俊, 大森整, 渡彦裕, 水谷正義, 小茂鳥潤: ELID 研削を施した金型材料の表面機能評価 2003 年度精密工学会秋季大会學術講演會講演論文集, (2003), pp.208
9. 安齊正博, 須藤亨, 大畑久規, 尾花卓也, 中川威雄: ダイヤモンドペーストを用いた超硬合金の磁気研削, 粉体および粉末冶金, 39,6,(1992), 51 0-514
10. 安齊正博, 李龍哲, 川島悦哉, 中川威雄: 高速ミリングと磁気研削法の組合せによる加工能率の向上化, 砥粒加工学会誌, 40,2, (1996). 87-90