

◆ 특집 ◆ 광학부품 제조기술

평행연삭과 자기연마에 의한 유리렌즈 성형용 코어 금형의 표면가공 특성

Investigation for Mirror-surface Machining Properties of Mold Core of Glass Molding Press by Parallel Grinding and Magnetic Assistance Polishing

이용철¹, 김경년², 곽태수^{3,✉}
Yong-Chul Lee¹, Gyung-Nyun Kim² and Tae-Soo Kwak^{3,✉}

1 연암공업대학 컴퓨터응용기계과 (Department of Computer Aided Mechanics, Yonam Institute of Digital Technology)

2 거제대학 기계공학과 (Department of Mechanical Engineering, Koje College.)

3 국립진주산업대학교 기계공학과 (Department of Mechanical Engineering, Jinju National Univ.)

✉ Corresponding author: tskwak@jinju.ac.kr, Tel: 055-751-3317

Manuscript received: 2010.9.20 / Accepted: 2010.10.22

The usage of ultra-precision machining is increasing by the manufacturing of precision optical elements such as camera lens, laser printer, CD player, DVD and microscope parts etc.. The WC alloy material is in wide use by mold core to improve the productivity and accuracy in manufacturing those precision parts. The WC alloy mould core can be machined effectively by the parallel grinding process which is an excellent technique for manufacturing of surface profile hard to machining materials such as the hardened metal alloy, Ceramics, Glass and so on. Magnetic assisted polishing as a final polishing process has also been utilized to obtain ultra-precision mirror surface with the elimination of traces presented on ground surface. It is able to deduce the optimal ultra-precision machining conditions of the WC alloy material from the experiment and analyses results.

Key Words: Mirror-surface (경면), Parallel Grinding (평행연삭), Magnetic Assistant Polishing (자기연마), Surface Roughness (표면거칠기), Profile Accuracy (형상정밀도)

1. 서론

최근 고화소용 디지털 카메라, 레이저프린터, CD 플레이어, DVD, 의료용 내시경, 광학 현미경 등의 전자제품 및 광학제품의 수요가 급증하고 있으며 이에 따른 제품의 생산성 증대와 품질향상에 대한 요구에 따라 나노급 초정밀가공^{1,2}이 크게 주목 받고 있다. 이들 제품의 고급화를 위해서 성능향상은 물론 소형·경량화가 가속화되고 광학렌

즈는 구면에서 비구면으로, 플라스틱에서 유리제품으로의 수요가 크게 늘고 있다. 이들 유리제품을 성형하기 위한 금형코어는 내열성과 내구성을 고려하여 초경합금 소재를 널리 사용하고 있다. 초경합금의 형상가공에는 방전가공 또는 다이아몬드 스톨을 이용한 연삭 가공과 다듬질 가공을 위한 연마가공을 주로 적용하고 있다.^{3,4} 그러나 방전가공은 가공효율이 낮고, 나노급의 표면가공 정밀도를 얻기는 매우 어렵다.

본 연구는 두산 인프라코어(주)에서 개발한 초정밀 자유곡면 가공기(NT300F)를 사용하여 평행연삭에 의한 초경합금제의 나노 수준의 경면연삭 가공을 수행하고, 연삭 가공한 시편을 자기연마가공법에 의한 연마가공을 실시하여, 연삭 흔적 제거와 표면거칠기 향상 등 유리렌즈 성형용 코어 금형의 표면 가공특성을 분석하였다.

2. 실험장치구성 및 실험방법

2.1 평행연삭 가공

본 연구에 사용된 초정밀 자유곡면 가공기는 X, Y, Z 축 슬라이드 3 개의 직선 이송축과 B, C 2 개의 회전축 위에 연삭 헤드를 설치하여 연삭 실험을 실시하였다. 이 가공기는 LM 가이드와 나노스케일을 이용하여 정밀이송이 가능하며, 유정압 베어링에 의해 구동되고, 3 개의 유정압 슬라이드가 교차하는 구조로 되어있다. 안내면의 위치정밀도는 1 펄스당 1nm 의 이송이 가능하며, 테이블의 스트로크는 300 x 100 x 250mm 이다. 공작물 축은 최대 6,000rpm 까지 가능한 진공 척을 사용하였고, 연삭 헤드의 공구축은 최대 60,000rpm 까지 가능한 에어터빈 스피들이 장착된 연삭 헤드를 제작·설치하였다. Fig. 1 은 실험에 사용된 초정밀 자유곡면 가공기이며, Fig. 2 는 실험을 위해 구성된 평행 연삭 장치를 보여주고 있다.



Fig. 1 Ultra-precision profile machining Machine

연구에 사용된 공작물은 유리렌즈 성형용 금형 코어재로 널리 쓰이는 초경합금(WC)으로 코발트(Co)함량이 0.5%이하로 처리된 것이다. 소결재로 사용된 코발트가 많이 함유되면 불순물로 작용하

여 금형 코어의 가공성과 내구성에 많은 영향을 미치므로 최대한 적게 함유된 소재가 요구된다. 시편은 표면가공 특성을 파악하기 위하여 평면과 구면 두 종류를 선정하였다. 또한 연삭 시편은 레진본드 미립다이아몬드 시편으로 황삭용 SD#325, 중삭용 SD#600, 정삭용으로 SD#1,200 과 SD#2,000 두 종류를 사용하였다. 시편별 연삭조건은 기초 예비실험과 저자들의 앞선 연구결과^{5,6} 를 통해서 선정하였다. Table 1 에 공작물 규격과 연삭시편의 입도별 연삭조건을 나타내었다.

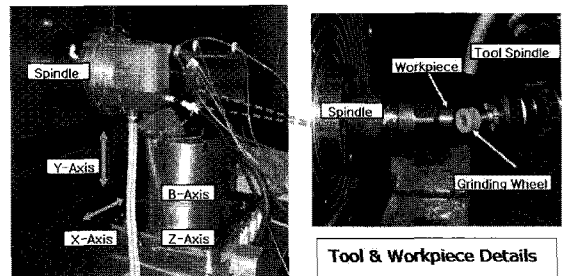


Fig. 2 Detail views of grinding experiment

Table 1 Workpieces and grinding conditions

Workpiece & Size	WC(Co:under 0.5% contained), Flat φ14×20, Spheric φ10×20, SR30			
	Tool rev. (RPM)	Workpiece rev.(RPM)	Feedrate (mm/min)	Depth (μm)
SD #325	30,000	500	5	10
SD #600	40,000	400	1	1
SD #1,200	40,000	400	0.5	0.5
SD #2,000	35,000	350	0.5	0.5

연삭 시편의 입도는 연삭면의 표면거칠기를 결정하는 주요한 변수이며, 가공효율과 밀접한 관련이 있다. 평면과 구면시편 다같이 연삭 가공효율과 요구되는 가공정밀도를 고려하여 입도별로 #325, #600, #1,200, #2,000 으로 각각 연삭하였다.

2.2 자기연마 가공

연마가공은 연삭이나 절삭가공 후 실시하는 최종 다듬질공정으로 형상정밀도 향상보다는 표면거칠기 향상을 위한 가공법이다. 본 연구에서는 비교적 장치구성과 가공이 간단할 뿐만 아니라 자기력과 자성 지립의 입도 조절로 연마 효율이 높은 자기연마(MAP : Magnetic Assisted Polishing)^{7,8}를 시

험하였다.

자기연마법의 기본적인 장치는 연마공구인 전 자석과 자성지립, 전원장치 그리고 이것을 장착·회 전시킬 수 있는 CNC 공작기계로 구성되어 있다. 자기연마공구를 기계주축에 장착하고, 공구와 공 작물 사이에 수 mm 의 간극을 주어 그 간극에 자 성지립을 채운다. 다음으로 연마공구에 직류 전류 를 흘리면 자성지립은 자화되어 공구선단과 공작 물 표면까지 브러쉬 모양으로 정렬되며, 이것이 유연성을 가진 연마숫들의 역할을 하게 된다. 이 런 상태에서 공구에 회전과 이송운동을 동시에 주 면 연마가 이루어지게 된다.

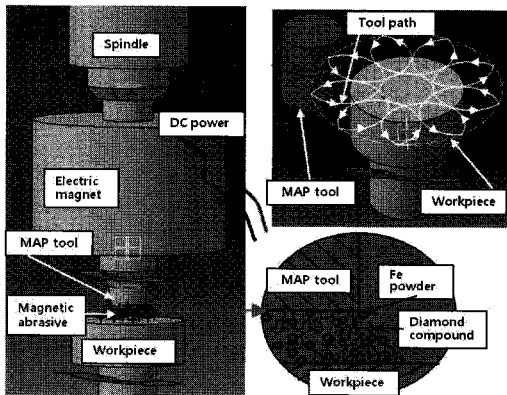


Fig. 3 Schematic diagram of magnetic assisted polishing

Table 2 Magnetic abrasive & MAP conditions

Machine	CNC machining center(3 axis controlled)
Tool shape & size	Flat end & slit type, Ø8mm
Magnetic abrasive	Fe powder(Dia. Under Ø38 μ m) + Diamond paste + Oil
Polishing conditions	Tool rev.:2,000rpm, Workpiece rev.:50rpm Gap:0.8mm, Feedrate:50mm/min Polishing iterations:2 times, Polishing time:Flat workp. 5min. Sphere 8.5min

본 연구에서는 2.1 절에서 서술한 바와 같이 경 면 연삭한 평면과 구면 시편을 가지고, 초경합금 재에 적합한 자성지립을 사용하여 자기연마가공을 실시하였다. Fig. 3 은 자기연마 가공의 원리와 자기 연마 실험 장치를 나타내는 그림이다. 또한 자기 연마 가공 장치 및 가공조건은 Table 2 와 같다.

자기연마가공의 공구경로와 방법은 Fig. 3 에 표

시한 바와 같이 공구와 공작물을 동시에 회전시키 면서 공작물 전체 표면을 골고루 연마하도록 나선 형을 그리는 경로로 구성하였으며, 같은 경로를 2 회 반복 연마하였다. 이것을 시간으로 계산하면 평면시편은 5 분, 구면시편은 8.5 분이 소요되었다.

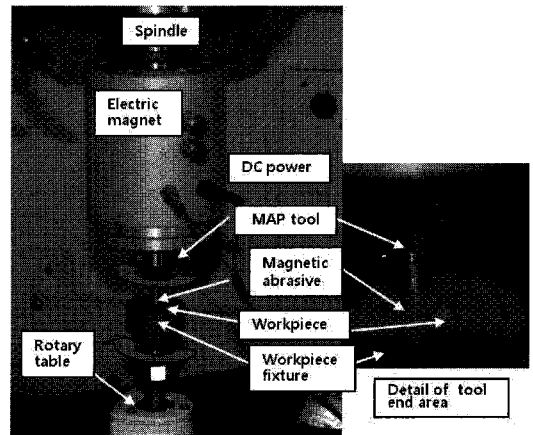


Fig. 4 External view of MAP experiment

3. 실험결과 및 고찰

3.1 평행연삭 실험 결과 및 고찰

Table 1 에 제시한 연삭조건에 따라 입도별로 연삭했을 때의 연삭특성을 파악하기 위해서 각각에 대해서 표면거칠기와 형상정밀도를 측정하였다. 표면거칠기 측정에는 3 차원 표면구조해석현미경(NewView 5032, Zygo)을, 형상정밀도 측정에는 3 차원 자유곡면 형상측정기(UA3P, Panasonic)를 사용하였다.

숫돌입도 #600, #1,200, #2,000 으로 연삭한 면의 중심선 표면거칠기 Ra 와 최대표면 거칠기를 PV 두 종류로 하였으며, 측정위치는 가공물을 원주방 향으로 3 등분하고 각도를 90 도 회전시키면서 전 체 12 부위를 측정한 후 이들의 평균값을 취했다. 형상정밀도는 RMS 와 PV 두 종류로 하였으며 측 정길이는 유효경을 감안하여 평면시편은 10mm, 구면시편은 8mm 로 하였다. 측정위치는 공작물을 45 도 회전시키면서 4 회 측정하여 평균값을 취했 다.

평면시편의 측정결과는 표면거칠기와 형상정밀 도를 Fig. 5 에 나타내었다. 표면거칠기는 측정위치 에 따라 평면과 구면 모두 다소 편차가 나타났으 며, 이는 공작물과 공구의 원주속도 차이로 인한

것으로 보인다. 이러한 문제의 개선을 위해서는 원주속도 일정 제어가 필요하다.

Fig. 5 와 같이 Ra 와 PV 는 #1,200 에서 14.609nmRa 와 166.129nmPV 로 나타났으며, #2,000 에서는 4.907 nmRa 와 56.899nmPV 로 각각 나타났다.

형상정밀도는 측정길이 10mm 에 대해서 #1,200 에서는 0.362μmPV, #2,000 에서는 0.097μmPV 로 나타났다.

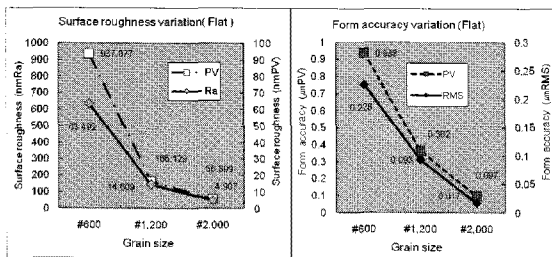


Fig. 5 Surface roughness and profile accuracy variation of flat surface workpiece

구면시편의 측정결과에서 중연삭의 결과는 평면시편과 비슷한 경향이 나타났으며, 경면 연삭 공정인 #1,200 과 #2,000 에 대한 결과는 Fig. 6 에 나타내었다. Fig. 6 과 같이 Ra 와 PV 가 #1,200 에서는 15.691nmRa 와 173.019nmPV 로 나타났으며, #2,000 에서는 6.621nmRa 와 60.353nmPV 로 각각 나타났다.

형상정밀도는 측정길이 8mm 에 대해서 #1,200 에서는 3.322μmPV, #2,000 에서는 1.052μmPV 로 나타났다.

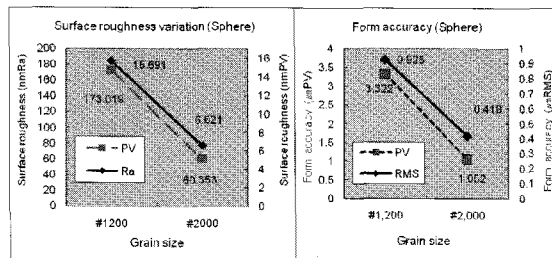


Fig. 6 Surface roughness and profile accuracy variation of spherical workpiece

Fig. 5 와 6 에서 알 수 있듯이 구면은 평면에 비해 표면거칠기와 형상정밀도가 나쁘게 나타났다. 이는 B 축을 사용하여 공작물 표면과 공구(숫돌의

모서리)가 항상 수직을 이루며 연삭이 이루어져야 하는데, B 축 구동이 지원되지 않아 원활한 구면연삭이 안된 결과가 나타난 것으로 보인다.

Fig. 7 은 평면시편의 표면구조현미경의 측정데이터 화면이다. Fig. 8 은 평면시편 사진 및 표면거칠기 측정 결과 그래프이며, Fig. 9 는 구면 시편의 사진 및 형상정밀도 측정결과 그래프이다.

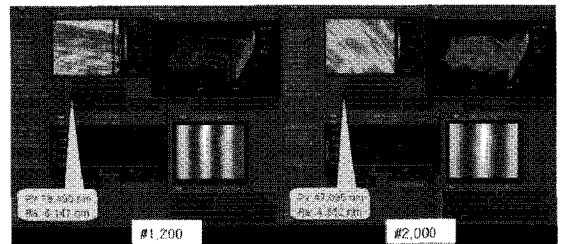


Fig. 7 Measured data surface roughness of flat surface workpiece (NewView5032, Zygo)

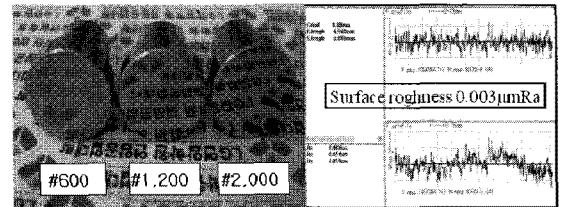


Fig. 8 Flat surface specimens and surface roughness

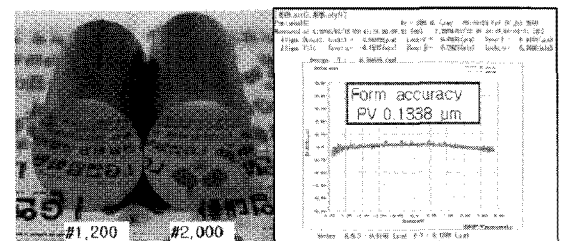


Fig. 9 Spherical specimens and measured profile data by UA3P measurement

3.2 자기연마가공의 실험결과 및 고찰

평행연삭에 의한 평면과 구면시편을 이용하여, Table 2 에 제시한 자기연마조건으로 연마했을 때 표면거칠기의 변화를 측정·고찰하였다. 연마가공은 형상정밀도 향상보다는 표면거칠기 향상을 위한 목적으로 사용되므로 본 연구에서의 연마 후 형상정밀도는 연삭면과의 차이가 거의 나타나지 않았다.

따라서 평면과 구면 시편의 중심선표면거칠기

(Ra)와 최대표면거칠기(PV)에 대한 연마전후의 변화에 대해서 정리한 결과는 Fig. 10 과 Fig. 11 에 각각 나타내었다.

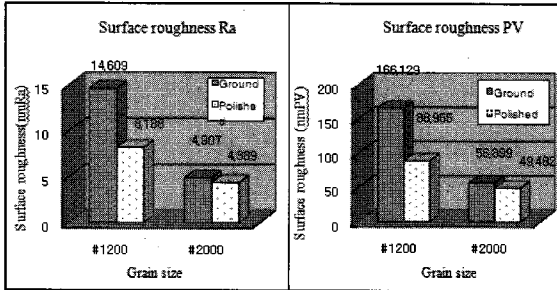


Fig. 10 Surface roughness variation of ground and polished surface for flat surface workpiece

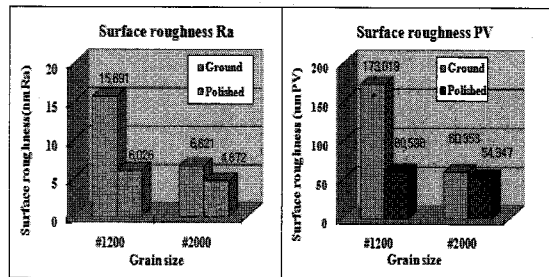


Fig. 11 Surface roughness variation of ground and polished surface for spherical workpiece

Fig. 10 과 11 에서와 같이 평면과 구면시편 두 경우 모두 비슷한 표면거칠기 경향을 보여주고 있다.

평면시편은 Fig. 10 에서와 같이 Ra 는 숫돌입도 #1,200 의 평행연삭 시편에서 연삭면의 표면거칠기가 14.609nmRa 인 것이 연마 후에는 8.188nmRa 로 향상되었고, #2,000 의 경우 4.907 nmRa 에서 연마 후에는 4.389nmRa 로 향상되었다. PV 는 #1,200 평행연삭 시편에서 166.129nmPV 인 것이 연마 후에는 88.965nmPV 로 향상되었고, #2,000 의 경우 50.899 nmPV 에서 49.482nmPV 로 향상되었다.

구면시편은 Fig. 11 에 나타난 바와 같이 Ra 는 숫돌입도 #1,200 에서 연삭면의 표면거칠기가 15.691 nmRa 에서 6.026nmRa 로 향상되었다. 숫돌입도 #2,000 의 경우에는 6.621 nmRa 에서 4.672nmRa 로 향상되었다. 또한 PV 는 #1,200 의 경우, 173.019nmPV 인 것이 연마 후에는 60.598nmPV 로 향상되었고, #2,000 의 경우 60.353 nmPV 에서

54.347nmPV 로 향상되었다.

Fig. 12 에는 평면시편을 #2,000 으로 연삭한 면과 자기연마한 면에 대한 표면구조현미경 측정데이터이며, Fig. 13 은 #2,000 으로 연삭한 시편과 자기연마 시편, 그리고 150 배로 확대한 각각의 표면 사진이다.

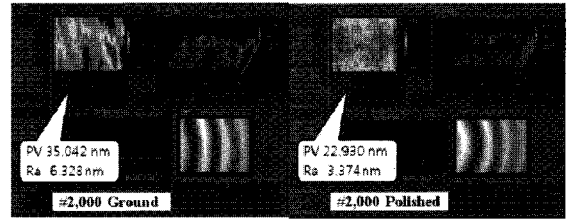


Fig. 12 Measured data surface roughness of ground and polished surface (NewView5032, Zygo)

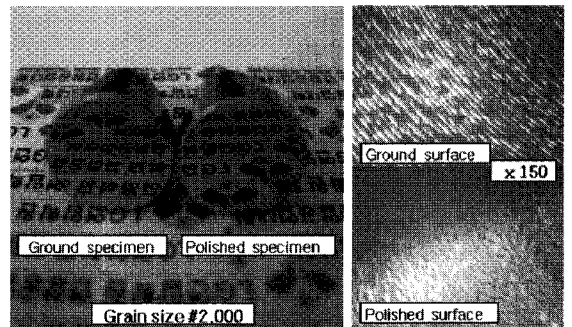


Fig. 13 Ground surface, polished specimen and microscopic surface pictures

연삭 후 자기연마한 PV 값의 변화가 Ra 값보다 큰 것은 Fig. 12, 13 에서 알 수 있듯이 연삭면에서 연삭숫돌의 입자에 의해 생성된 산(Peak)을 자기연마에서 쉽게 제거된 것이며, 연삭면의 표면사진에서 연삭 흔적이 선명하게 보이지만 연마 후에는 희미하게 없어지고 매끈하게 되어 자기연마가 이루어졌다는 것을 알 수 있다.

또한 구면이 평면보다는 연마면의 표면거칠기가 나쁘게 나타나고 있다. 이러한 현상은 연삭면의 영향과 더불어 연마 시에 균일한 연마압력이 부과되지 않았기 때문이다. 이와 같은 자기연마의 단점을 해결하려면 연마공구축과 공작물 표면이 항상 수직을 이루도록 5 축 제어 연마가공이 필요하다. 숫돌입도에 따른 표면거칠기의 연마개선효과에 있어서 #1,200 보다 #2,000 이 미미한 것은

#2,000 의 경우는 연삭가공에서 표면의 균일성이 보다 많이 확보되었기 때문이며, #2,000 시편에서 표면거칠기의 향상을 위해서는 더욱 미세한 자기연마용 입자를 사용하면 연마효율이 높아질 것으로 사료된다.

4. 결론

초정밀 자유곡면 가공기 및 CNC 머시닝 센터에서 형상가공에 평행연삭법을 활용하고 다듬질 가공에 자기연마법을 이용하여 유리렌즈 성형용 금형코어 재료인 초경합금을 나노수준의 경면가공실험을 수행하였다. 평행연삭에 있어서 선행 연구^{3,4}와 예비실험을 통해서 얻은 Table 1 의 연삭숫돌 입도별 연삭 가공 조건을 활용하여 실험한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1) 평행연삭과 자기연마에 의하여 얻을 수 있었던 최상의 표면거칠기는 #2,000 에서 평면시편은 4.389nmRa, 49.482nmPV 이고, 구면시편은 4.672nmRa, 54.347nmPV 이었다.

2) 형상정밀도는 #2,000 연삭 시편에서 평면은 유효경 10mm 에 대해서 0.097 μ mPV 로 나타났으며, 구면은 8mm 에 대해서 1.052 μ mPV 로 구면 형상에 비해 평면 시편의 형상정밀도가 우수하였다.

3) 자기연마의 연마 효율은 평면 및 구면 연삭 시편에 대해 #1200 숫돌 시편의 경우 각각 44% 와 62%가 향상되었으며, #2000 번 숫돌시편의 연마효율 11%, 29.5%에 비해 매우 높았다. #2000 숫돌 시편의 경우 보다 미세한 연마입자를 사용하는 것에 의해 연마효율을 높일 수 있을 것으로 사료된다.

후 기

본 연구는 2010 년도 연암공업대학 교비연구비 지원 및 진주산업대학교 2010 년도 연구회 지원사업비에 의해 수행되었습니다.

참고문헌

1. Park, S. S. and Lee, H. J., "Research on Ultra-precision Grinding Method," J. of the KSPE, Vol. 23, No. 6, pp. 14-21, 2006.
2. Kim, H. U., Jeong, S. H., Lee, D. K., Kim, S. S., Kim, H. J. and Kim, J. H., "A Study on Improvement of WC Core Surface Roughness by Feedrate Control," J.

of the KSPE, Vol. 26, No. 1, pp. 57-62, 2009.

3. Kuriyagawa, T., Saeed, M., Zahmaty, S. and Syoji, K., "A new grinding method for aspheric ceramic mirrors 1," J. of the Materials Processing Technology, Vol. 62, No. 4, p. 387, 1996.
4. Kwak, T. S., Lee, Y. C., Kim, G. N., Choi, D. B., Yamanoi, M. and Ohmori, H., "Nano-precision combined process of electrolytic in-process dressing grinding and magnetic assisted polishing on optics glass material," Trans. Nonferrous Met.. Soc. of China, Vol. 19, Suppl. 1, pp. s301-s306, 2009.
5. Kim, S. S., Lee, Y. C., Lee, D. K., Kim, H. J. and Kim, J. H., "Ultra-precision Grinding Optimization of Mold Core for Aspheric Glass Lenses using DOE and Compensation Machining," J. of the KSPE, Vol. 24, No. 6, pp. 45-50, 2007.
6. Kwak, T. S., Kim, G. N. and Lee, Y. C., "Study on nano-level mirror surface finishing on mold core to glass lens molding," J. of the KSPE, Vol. 23, No. 1, pp. 97-104, 2006.
7. Lee, Y. C., Anzai, M. and Nakagawa, T., "A Study on Improving the Efficiency of Magnetic Abrasive Polishing for Die & Mold Surface," J. of the KSPE, Vol. 13, No. 6, pp. 59-65, 2006.
8. Kwak, T. S., Lee, Y. C., Anzai, M. and Ohmori, H., "Study on nano-level mirror surface finishing using ELID grinding and magnetic assisted polishing," J. of the Japan Society for Abrasive Technology, Vol. 49, No. 2, pp. 38-41, 2005.