

자성체 피복형 연마입자를 이용한 유리의 평면 래핑의 기초 연구

문봉호[#]

Fundamental Research on Polishing of Glass Plates by Coated-type Magnetic Abrasives

Bong-Ho Moon[#]

(Received 29 April 2011; received in revised form 21 June 2011; accepted 23 June 2011)

ABSTRACT

In order to obtain excellent flatness and surface roughness of glass substrate disk, uniform distribution of abrasives should be important for uniform polishing. We introduced coated-type magnetic abrasives and magnetic field to a lapping for the improvement of surface roughness and removal rate. Polishing properties with the conventional diamond abrasives and the coated-type magnetic abrasives were compared. As a result, the coated-type magnetic abrasives showed small surface roughness and large removal rate by applying magnetic field. And it also was shown that coated-type magnetic abrasives could save the more amount of polishing liquid under the same removal rate than the conventional diamond abrasives can.

Key Words : Polishing of Glass Plates(유리평면 연마), Coated-Type Magnetic Abrasives(자성체 피복형 연마입자), Removal Rate(연마율), Surface Roughness(표면거칠기), Abrasives(연마재)

1. 서 론

최근 반도체 및 자기 저장 장치 분야에서 우수한 표면 조도와 평면도를 갖춘 평면 가공 방법이 요구되고 있다. 완전한 평면을 얻기 위해서는 연마 가공시 연마재의 분포가 균일하여야 하며, 또한 칩의 배출이 잘 되어야 한다. 기존의 래핑이나 폴리싱 등의 연마에서는 연마재의 산포방식으로 가공정도는 공구의 정도에 지배되며, 복잡한 형상의 가공은 할 수가 없

었다. 이에 연마 가공시 연마입자의 분포를 제어하는 방법으로 자성 유체를 연마액으로 이용하는 방법이 있다. 이 방법은 今中, 黒部등^[1]에 의해 자기장의 움직임을 이용하여 연마입자의 운동을 규제하고자하는 새로운 연마가공법인 FFF(field assisted fine finishing)을 제안으로 시작하였다. 자기장을 이용한 FFF는 비자성체인 연마재와 연마액인 자성 유체에 자기장을 걸어주면 연마재가 자기 배출력을 이용하여 연마가공을 하는 가공법이다. 또한 자성유체의 자기력에 의해 연마입자의 분포를 제어할 수 있다. 하지만 불균일한 자기장으로 인해 완전한 유체지지 연마를 할 수 없어 자성유체를 연마액으로 하여 연마입자를 가공

[#] 교신저자 : 전남대학교 기계자동차공학과
E-mail : mbh@chonnam.ac.kr

물에 충돌시키는 연마법이었다.谷登^[2-4]에 의해 자성 유체를 이용한 자기 부양 연마법(magnetic float polishing)이 개발 되었다. 자기장 중에 연마입자를 부양시켜 연마시키는 것으로 가공압력이 높고, 연마입자가 유체에 의해 지지되므로 가공능률과 정도가 높은 가공법으로 더욱 자기장 이용 연마가공은 발전하였다. 자기장을 이용한 연마법은 여러 부품의 가공에 응용되기 시작하여, 파이프내면 가공^[5,6], 렌즈의 비구면 가공^[7], 세라믹 볼 가공^[8] 등에서 뛰어난 성능을 발휘하였다.梅原^[9]은 자성유체 속의 비자성 연마재에 작용하는 상호 작용력을 이용하여 자기장의 응집 제어가 가능하다는 것에 착안하여 국소 영역의 연마를 실시하여 그 효과를 나타내고 있다. 또한,梅原^[10]은 평면에서 연마재를 포함한 자성유체를 연마액으로 하여 유리 평면의 래핑 연마 기초 실험을 실시, 표면거칠기 및 평면도에 미치는 자기장의 영향을 분명히 했다. 그러나 자성유체의 이용은 고가의 자성유체 때문에 연마 비용이 증가하며, 연마후의 자성유체의 처리에 따른 환경오염 등의 문제를 안고 있다. 이러한 자성유체의 문제점을 해결하면서 자성유체의 장점을 얻기 위해 자성유체를 대신할 수 있는 자성체를 피복한 연마재를 名古屋大學 梅原徳次 교수, 日本研磨材와 공동개발을 하였다.

따라서 본 연구에서는 자성 유체에 의한 비자성 연마재의 배열 대신 연마입자에 자성체를 코팅한 자성체 피복 연마재를 사용하여 자기장 아래에서 결정화 유리의 평면래핑을 실시하였다. 특히, 표면거칠기와 연마 비율에서 자성체를 코팅하지 않은 일반 다이아몬드 연마재와 비교하여, 이 연마법의 효과를 밝혔다.

2. 실험 장치 및 방법

2.1 연마액의 제작 방법

실험에 사용한 연마입자는 1/2~3 μ m 다이아몬드 연마입자에 자성체를 10nm 피복한 것(MDA : magnetic diamond abrasive)과 피복하지 않은 것 (DA : diamond abrasive)의 2종류이다. 연마액은 물 베이스 윤활제 500ml에 2가지의 연마입자를 각각 3ct 혼합한 것을 사

용하였다.

2.2 수직자기장 인가형 래핑장치

랩 테이블에 자기장이 인가 가능한 래핑장치를 제작하였다. Fig. 1에 제작된 래핑장치를 나타낸다. 래핑 장치는 기존의 래핑머신을 개조한 것으로, 동체의 랩 테이블을 이용하였다. 랩 테이블 위에서 수직 자기장이 발생하도록 랩 테이블 아래에 코일을 설치했다. Fig. 1의 래핑장치의 랩 테이블 AB간의 수직자기장 강도 분포를 Fig. 2에 나타낸다.

자기장을 주기위한 인가 전류는 10A이며, 연마 영역에 약 3mT에서 16mT 수직자기장이 발생하고 있다.

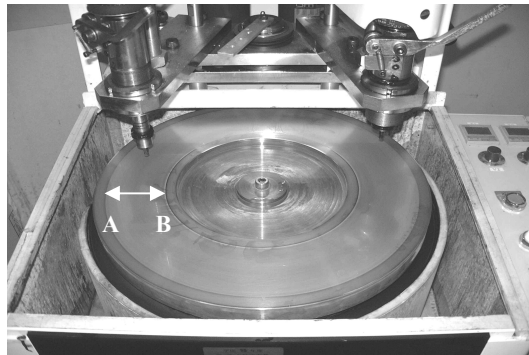


Fig. 1 Lapping apparatus applied perpendicular magnetic field

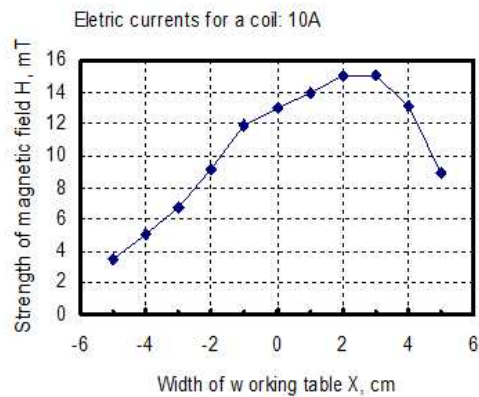


Fig. 2 Intensity distribution of perpendicular magnetic field on the lap table

자기장을 주기위한 인가 전류는 10A이며, 연마 영역에 약 3mT에서 16mT 수직자기장이 발생하고 있다.

2.3 연마 실험

유리 시편을 홀더에 붙여 단면을 래핑을 한다. Fig. 3에 실험에서 사용한 유리 시편의 표면특성을 나타낸다. 시편은 2.5inch HDD용 결정화 유리를 사용하며, 직경은 약 56mm, 두께는 약 0.9mm, 표면 거칠기는 약 1.8 μ m Rmax, 0.3 μ m Ra이다. 실험 조건으로 랩 테이블의 회전 속도는 120rpm, 연마 압력은 20kPa, 연마 시간은 15분이다. 연마액은 1회의 래핑에 있어서 실험 초기에는 5ml, 이후 1분당에 1ml 추가 공급한다. 시편의 표면거칠기는 축침식 조도 측정기를 사용하여 시편의 반경 방향으로 단면 곡선을 측정한다. 시편의 표면 평가는 광학 현미경을 사용한다.

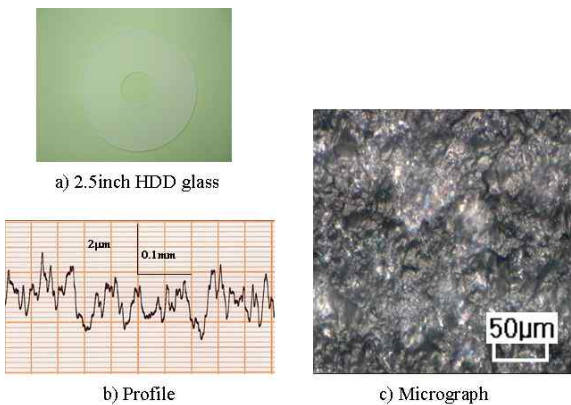


Fig. 3 Characteristics of the glass specimen

3. 실험 결과 및 고찰

3.1 연마시간이 표면거칠기에 미치는 영향

2가지의 연마입자의 연마 시간이 표면거칠기에 미치는 영향을 Fig. 4와 Fig. 5에 나타낸다. 두 그림에서 모두 연마 시간의 증가에 따라 표면거칠기는 감소하지만, 다이아몬드 연마 (DA)보다 자성체를 피복한 연마 (MDA)에 자장을 인가한 경우 표면거칠기의 Ra와

Rmax 모두 약 40% 감소하였다. 또한 Fig. 4와 Fig. 5에서 DA도 연마 시간 10분까지는 Ra 및 Rmax가 급격히 감소하고 있다가 그 후 일정해지고 있다. 이것은 DA의 경우 5분부터 연마액 중의 연마입자가 외부로 배출되기 시작하여 10분 후에는 연마입자가 거의 없어진 것으로 보인다. 한편, MDA는 15분까지도 표면거칠기의 지속적인 감소가 나타나고 있어, 연마에 필요한 연마입자가 자기장에 의해 남아있는 것으로 생각된다.

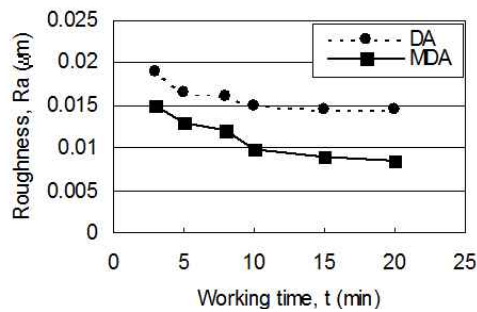


Fig. 4 Effect of polishing time on surface roughness(Ra)

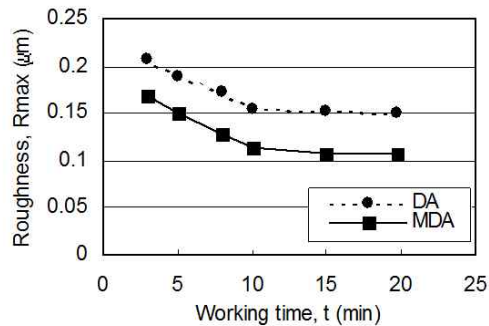


Fig. 5 Effect of polishing time on surface roughness(Rmax)

10분 연마 후의 MDA, DA의 광학 현미경 사진을 Fig. 6에 나타낸다. 그림에서 DA가 MDA보다 표면에 굽힌 자국이 불균일하다는 것을 알 수 있다. Fig. 7에 MDA의 가공 메커니즘을 나타낸다. DA의 경우 연마액 속에서 연마입자가 균등배열이 얻을 수가 없다. MDA는 랩 테이블아래에 설치된 코일에 전원을 가하면 수직자기장이 발생하여 자기력이 형성되며, 이러한 자기장은 연마입자에 코

팅된 자성체에 영향을 준다. 자성체에 걸리는 자기력에 의해 MDA는 DA에 비하여 제자리를 유지하기 경향이 있으며, 자기장 안에서 자기밀도에 의해 균등배열이 이루어지면서 연마 작용을 하고 있다.

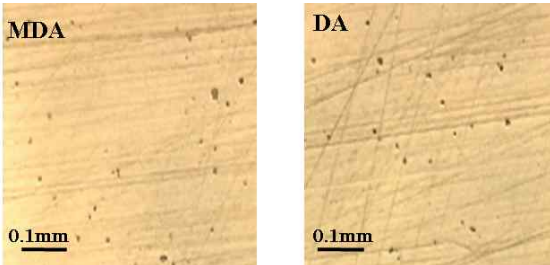


Fig. 6 Optical micrographs of polished surface

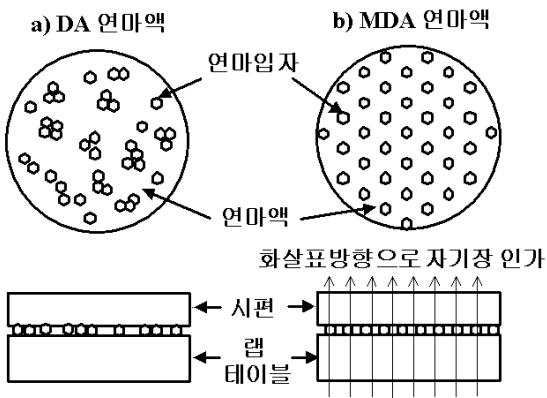


Fig. 7 The abrasive particle distribution model of polished surface

따라서 자기장을 인가한 MDA의 경우에는 연마액체의 연마입자가 비교적 균등하고 고르게 배열하여 연마를 하여 표면거칠기가 좋아지는데 반하여, 자기장을 인가하지 않은 DA의 경우에는 연마액의 연마입자가 응집하여 큰 덩어리가 되어 Fig. 6과 같이 연마시 표면을 깊게 긁어서 깊고 넓은 연마자국이 생겼다고 생각된다.

3.2 연마 시간이 연마율에 미치는 영향

연마율에 영향을 미치는 연마 시간을 Fig. 8에 나타낸다.

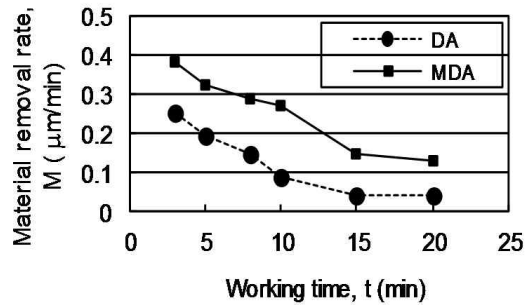


Fig. 8 Effect of polishing time on the polishing rate

Fig. 8에서 전체적인 연마율은 시간이 지남에 따라 감소하고 있으며 MDA의 연마율이 DA보다 약 2~3배 크다. DA로 래핑을 할 때 시편과 시편을 장착하고 있는 홀더 측면에 다량의 연마입자가 부착하여 쌓여 있었다. 이러한 현상은 MDA에서는 보이지 않았다. 자기장을 걸리지 않는 DA의 연마입자는 시편에 의해 연마 영역 밖으로 제거되어 있고, 원심력에 의해 비산하여 랩 테이블위에서 배출되어 시편과 시편 홀더 측면에 부착, 퇴적했다고 생각 된다. 반대로, MDA의 경우에는, 자기장에 의해 연마입자와 연마액이 유지되는 것으로 생각된다. MDA가 DA에 비해 인가된 자기장에 의해 자성체 피복 연마재가 연마면에 연속적으로 테이블의 중앙에서 측면까지 연마액 내에서 배열되어, 연마면에 작용하는 연마입자수가 유지되며 그로 인하여 표면거칠기와 연마율이 향상되었다.

3.3 연마액 양이 연마율에 미치는 영향

연마율에 영향을 미치는 연마액 양을 비교하기 위하여 MDA 양을 3ml, 5ml, 10ml로 하여 10분간 연마를 실시하였다. 그 결과를 Fig. 9에 나타낸다. MDA의 3ml가 DA의 5ml보다 연마율이 더 높다. DA와 같은 연마비율을 얻는 것은 MDA로 절반의 양으로 가능하다. 이것 역시 Fig. 7과 같이 MDA의 경우가 DA경우에 비해 연마입자가 연마면에 연속적이고 중앙까지 진입 가능, 연마면의 작용 연마수가 유지되며 그로 인하여 연마율이 향상되었다고 생각된다.

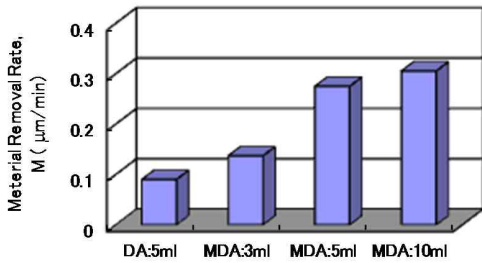


Fig. 9 Effect of the amount of polishing liquid on the polishing rate

4. 결론

자성체를 피복한 자성체 코팅 형식 연마재를 자기장 아래에서 사용하여 유리의 평면 래핑의 기초적인 연마실험을 실시했다. 얻은 주요 결과는 다음과 같다.

1. 자성체 코팅 형식 다이아몬드 연마입자와 일반 다이아몬드 연마입자를 비교하면 수직자장 하에서 표면거칠기는 Ra에서 40% 감소하였다.
2. 전체적인 연마율은 시간이 지남에 따라 감소하고 있으며 MDA의 연마율이 DA보다 약 2~3배 크다.
3. 자성체 코팅 다이아몬드 연마입자가 더 적은 연마액의 공급량으로 일반 다이아몬드 연마입자와 같은 정도의 연마율이 되었다. 자기장을 인가하면 절반 연마액의 공급량에도 동일한 연마율이 얻어진다.

후기

본 연구에 많은 도움을 주신名古屋大學 梅原徳次교수와 日の本研磨材의 下村 彰사장님에게 감사드립니다.

참고문헌

1. 今中 治, 黒部利治, 松島一晃, "磁性流体による砥粒加工", 精機學會春季大會學術講演論文集, pp. 774, 1981.

2. 谷 泰弘, 仙波 卓弥, 河田 研治, "磁性流体を用いた磁氣浮揚研磨法の開發 (第1報) : 磁氣浮揚研磨の概念とその實証", 生産研究, VOL. 35 No. 12, pp. 531-534, 1983.
3. 河田 研治, 谷 泰弘, 高尾 正昭, "磁性流体を用いた磁氣浮揚研磨法の開發 (第2報) : 磁氣浮揚研磨の高能率・高精度", 生産研究, Vol. 36, No. 8, pp. 366-369, 1984.
4. 高尾 正昭, 谷 泰弘, 河田 研治, "磁性流体を用いた磁氣浮揚研磨法の開發 (第3報) : 加工メカニズムの解明", 生産研究, Vol. 37, No. 2, pp. 76-79, 1985.
5. 山本 豊壽, 梅原 徳次, 加藤 康國, 菊間 敏夫, 渡辺 和夫, "円管内面の磁性流体研磨の研究", 日本機械學會論文集(C編), Vol. 58 No. 554, pp. 3134-3139, 1992.
6. 김희남, 윤여권, 심재환, "자기연마를 이용한 STS304 파이프 내면의 초정밀가공", 산업안전학회지, 제17권, 제13호, pp. 30-35, 2002.
7. 黒部 利次, 示野 和弘, 今中 治, "磁性流体利用の作用砥粒數制御研磨", 精密工學會誌, Vol. 54, No. 8, pp. 1525-1530, 1988.
8. 張波, 梅原徳次, 加藤康司, "セラミック球の磁性流体研磨の研究 : 駆動軸とガイドリングの偏心が研磨特性に及ぼす影響", 精密工學會誌, Vol. 61, No. 4, pp. 586-590, 1995.
9. 梅原 徳次, 加藤 康司, 水口 信一, 中村 茂, "磁性流体を用いた局所領域の微小研磨", 精密工學會誌, Vol. 60, No. 11, pp. 1606-1610, 1994.
10. 青柳 英樹, 梅原 徳次, 下村 彰, "磁性流体を研磨液として用いた平面ラッピングの基礎研究", 精密工學會秋季大會學術講演會講演論文集, Vol. 2001, No. 2, pp. 617, 2001.