

평면 연삭에서의 연삭 슷돌 마모 모니터링

주광훈*(금오공과대 대학원), 김현수(금오공과대 대학원), 홍성욱(금오공과대),
박천홍(한국기계연구원)

Monitoring of Grinding Wheel Wear in Surface Grinding

K.H. Ju (Graduate School, Kumoh Nat'l Univ. of Tech.), H.S. Kim (Graduate School, Kumoh Nat'l Univ. of Tech.), S.W. Hong (Kumoh Nat'l Univ. of Tech.), C.H. Park (Korea Institute of Mach. and Metals)

ABSTRACT

This paper deals with monitoring of grinding wheel wear in surface grinding process. A laser scanning micrometer is used to measure the circumferential shape as well as the axial shape of grinding wheel. The monitoring system is applied to two kinds of grinding methods: plunge and traverse grinding. Through experiments, it is found that measurement of grinding wheel wear reveals information of roughness of ground surface and the adequate dressing time. In addition, monitoring of grinding wheel wear makes it possible to identify abnormal grinding conditions.

Key Words : Grinding wheel wear(스틀 마모), Plunge grinding(플런지 연삭), Traverse grinding(트래버스 연삭), Surface roughness(표면 거칠기)

1. 서론

연삭 가공물은 슷돌 표면 상태에 따라 품질이 결정된다. 다른 절삭 공정에 비해 대체로 공구의 마모가 빨리 진행되는 연삭에서는 슷돌에 대한 정확한 정보 없이 드레싱(Dressing)이 행해지고 있다. 따라서 연삭 효율을 높이고 연삭 정밀도를 향상을 위한 기상(On machine)측정의 필요성이 증대되고 있다[1-4]. 본 연구에서는 레이저 스캐닝 마이크로미터(LSM)를 이용한 슷돌 마모 모니터링 시스템을 평면 연삭 공정에 적용하였다. 측정 장치를 플런지(Plunge) 및 트래버스(Traverse)연삭에 적용하였는데 슷돌 마모량 측정 및 슷돌 형상 재현이 가능하였으며, 슷돌 마모량 측정 정보로부터 연삭 상태와 적절한 드레싱 시점 등을 예측할 수 있었다. 한편 레이저 간섭계(Laser interferometer)를 이용하여 연삭 테이블의 이송 오차를 측정, 정확한 마모량을 규명할 수 있도록 하였으며, 다이아몬드 촉침식(Stylus) 표면 거칠기 측정 센서를 이용하여 가공물의 표면 거칠기를 측정하여 각 연삭공정에서 슷돌 마모와 표면 거칠기의 관계를 보였다.

2. 측정 장치 구성 및 테이블 이송 오차 분석

2.1 측정 장치 셋업

Fig. 1은 평면 연삭기에 적용한 측정 장치의 예를 보인 것으로 연삭 테이블 중심에 가공물을 위치시키고 가공 완료 후 슷돌의 수직 이동 없이 측정이 가능하도록 테이블 앞부분에 LSM을 두었다. 한편, 연삭기의 주축 회전수는 고정되어 있으므로 적절한 슷돌

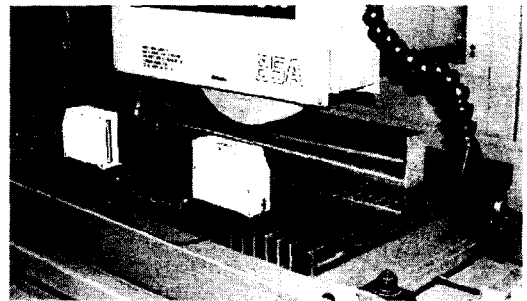


Fig. 1 Experimental setup for monitoring on surface grinding machine

Table 1 Basic grinding conditions

Grinding wheel	WA90JmV
Width of wheel	20mm
Cutting speed	∅240mm × 1700rpm
Table feeding speed	0.154m/s
Grinding method	Up-Grinding
Workpiece	SCM4

원주 데이터 확보를 위해 슷돌 축 뒤편에 별도의 모터 구동 장치를 장착하여 측정에 필요한 주축 회전수를 얻도록 하였다. Table 1은 본 연구에서 적용한 평면 연삭기의 기본 실험조건을 보인 것이다.

2.1 테이블 이송 오차 측정 및 분석

LSM을 이용하여 측정된 데이터는 비교적 일정하게 유지되는 기율기 성분을 포함하고 있다. 이는 슷돌 마모 측정 시에 측정 장치가 놓인 연삭 테이블의 횡방향(스�돌축방향)이동에 대해서 드레싱 장치의 이동 축이 평행을 이루지 못한 것으로 사료된다. 따라서 기율기 오차 보정을 위해 레이저 간섭계를 이용하여 Fig. 2에 보인 것처럼 연삭 테이블에 대한 각오차를 측정하였다. 수직 각오차(Pitch error)의 경우 가공물이 놓이는 부분(200mm)과 측정 장치가 놓이는 부분(480mm)과의 기율기 변화가 있음을 알 수 있다. 데이터의 기율기 오차는 주로 테이블 수직 각오차에 기인한 것으로 볼 수 있으므로 실제 해석 과정에서는 기율기 성분을 제거하여 표현하였다. 본 연구에서 제안한 연삭 슷돌 마모 모니터링 측정 장치는 슷돌 마모는 물론 연삭기 자체의 정도 측정에도 유용함을 알 수 있다. 연삭 테이블의 수평 각오차(Yaw error)의 경우 오차 범위가 작게 나타나며 측정에 크게 영향을 주지 않으므로 데이터 해석 시에 고려하지 않았다.

3. 연삭 슷돌 마모 모니터링

3.1 플런지 연삭에서의 슷돌 마모 모니터링

플런지 연삭에서 사용된 가공물의 면적은 250mm × 26mm로서 슷돌 폭 38mm보다 작게 하여 가공 시에 접촉되지 않는 슷돌의 일부를 절입량 제거의 기준으로 하였다. 드레싱 후 가공표면에 슷돌이 접촉되는 위치에서 최초 측정을 한 후 이후 절입량을 10μm로 하여 반복 가공을 수행하면서 100μm간격으로 슷돌의 마모 상태를 측정하였다.

Fig. 3은 측정된 데이터로부터 가공 절입량과 테이블 이송오차를 보정하여 구현한 연삭 슷돌 형상을 가공의 진행 순서에 따라 나타낸 것이다. 측방향에서 7mm이후는 가공 시에 접촉되지 않은 기준면을 의미한다. Fig. 3에서 알 수 있듯이 가공이 진행됨에 따라

라 슷돌 마모 정도가 잘 나타나고 있는데 이 마모량은 실제 가공물 정밀도에 관계하므로 마무리 가공 시에 보정될 필요가 있다. 또한 가공이 진행되면서 마모량이 오히려 작게 나타나다가 다음 가공에서 크게 나타나는 것을 볼 수 있다. 이는 가공이 진행되는 정도에 따라 슷돌 입자들 사이에 칩이 끼거나 달라붙어서 마모가 진행되지 않는 것처럼 보이는 것으로서 가공이 계속되면서 누적된 절입량에 의해 입자의 마모 및 탈락 발생이 쉬워지므로 다음 가공에서 마모가 크게 나타나는 것으로 사료된다. 이와 같은 슷돌 마모의 진행이 급격히 변화되는 정보를 활용할 경우 적절한 드레싱 시점을 결정할 수 있다.

Fig. 4는 표준 편차를 나타낸 것으로서 기준으로부터 초기 가공 시에 대체로 큰 변화가 발생하며 가공이 진행되면서 그 변화 폭이 작아짐을 알 수 있다. Fig. 5는 가공 진행에 따라 높이-빈도수를 나타낸 히스토그램을 보이고 있는데 기준면의 경우 중앙에 집중되고 비교적 안정적인 형태를 유지하는 반면에 가공이 진행되면서 넓게 산포되면서 변화가 심해지는 것을 확인할 수 있다. Fig. 4와 5로부터 가공물의 표면 상태를 예측할 수 있는데 표준 편차가 커지거나 히스토그램이 넓은 영역으로 산포되면 표면 거칠기는 상대적으로 크게 나타난다.

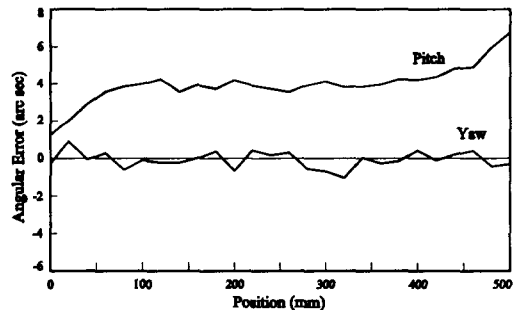


Fig. 2 Angular errors of feeding table of grinding machine

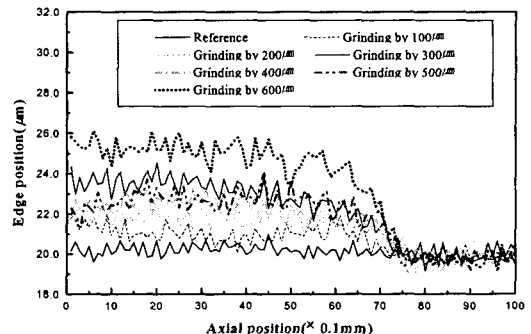


Fig. 3 Wear of grinding wheel in plunge grinding process

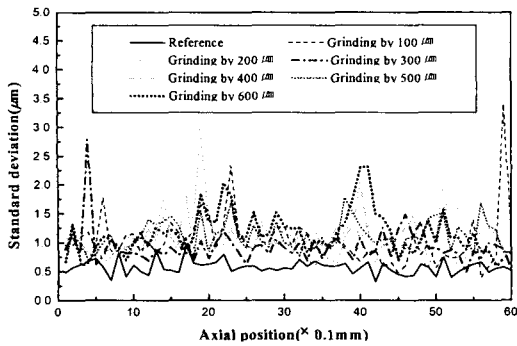


Fig. 4 Standard deviation of grinding wheel by plunge grinding

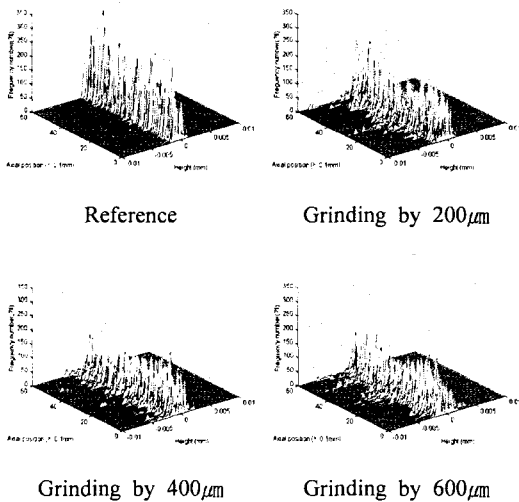


Fig. 5 Change in histogram of grinding wheel along axial direction due to grinding wheel wear in plunge grinding process

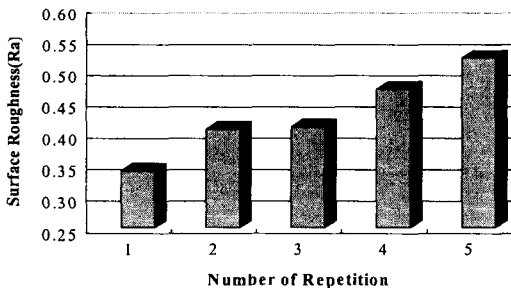


Fig. 6 Change of surface roughness in plunge grinding process

한편, 슛돌 마모 모니터링 실험과 병행하여 다이아몬드 축침식으로 가공물의 표면 거칠기를 측정하였다. 표면 거칠기는 가공물 표면 특정 지점에서의

값을 표면 전체에 대한 대표 값으로 하는 것이 곤란하므로 가공 면에 대해서 랜덤하게 6포인트를 측정하여 평균한 값을 대표 값으로 하였다[1]. Fig. 6은 플런지 연삭 과정에서의 표면 거칠기를 나타낸 것인데 가공이 진행되면서 슛돌 마모에 의해 가공물 표면이 거칠어지는 것을 알 수 있다.

3.2 트래버스 연삭에서의 슛돌 마모 모니터링

연삭 가공에는 가공물의 형상과 정밀도 및 품질에 따라 다양한 방법들이 있는데 대체로 가공물의 표면이 연삭 슛돌 폭보다 넓은 경우에 행해지는 트래버스 연삭에 대해서도 슛돌 마모 모니터링 실험을 수행하였다. 트래버스 연삭에서 사용된 가공물은 50 mm × 500mm 면적을 갖는다. 테이블 횡 이송량을 2.5mm로 설정하고 매 가공 시마다 절입량을 10μm로 하였다. 측정은 플런지 연삭에서와 같이 드레싱 후 슛돌과 가공물의 초기 접촉 가공 후 측정된 것을 기준으로 절입량 10μm간격으로 슛돌 마모 실험을 하였다. 플런지 연삭의 경우 연삭 슛돌의 폭보다 가공물의 폭이 작은 관계로 가공물에 접촉되지 않는 부분을 절입량 제거를 위한 기준으로 하였으나 트래버스 연삭에서는 슛돌의 전체 표면이 가공에 사용되므로 인위적으로 슛돌 앞면에 단을 만들어 절입량 제거를 위한 기준을 삼았다. 트래버스 연삭의 경우 슛돌의 앞면 입자들에 의해 절삭이 일어나고 뒤따르는 슛돌 입자들에 의해 가공 표면은 다듬질된다. 그러므로 상대적으로 앞면 입자들의 탈락이나 마모가 크게 나타난다[1].

Fig. 7은 초기 접촉 가공을 기준으로 하여 10μm 절입 가공마다 측정된 슛돌의 형상을 나타낸 것이다. 슛돌의 마모는 연삭 시작 시점부터 지속적으로 가공에 투입되는 앞면에서 크게 일어나고 있으며 가공이 진행되면서 점차 마모량이 증가하게 됨으로서 경사진 형태의 마모형상을 보이고 있다. 연삭이 진행되면 마모가 일어나는 부분이 보다 광범위해지는 특성을 보인다.

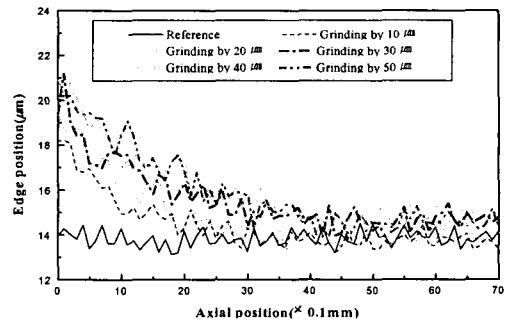


Fig. 7 Wear of grinding wheel in traverse grinding process

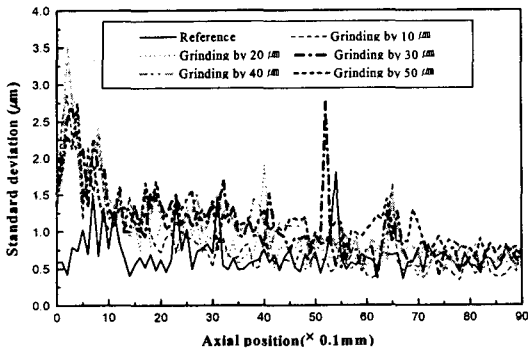


Fig. 8 Standard deviation of grinding wheel in traverse grinding process

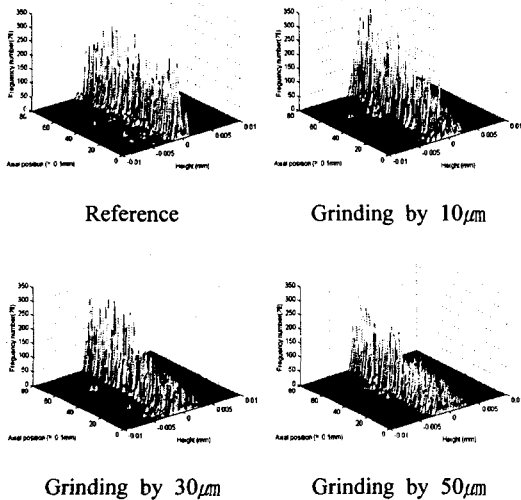


Fig. 9 Change in histograms of grinding wheel along the axial direction due to grinding wheel wear in traverse grinding process



Fig. 10 Change of surface roughness in traverse grinding process

Fig. 8은 표준 편차를 나타낸 것으로 슷돌 마모 량에 관계하여 나타나고 있다. Fig. 9는 높이-빈도수

에 대한 히스토그램을 나타낸 것으로 표준 편차에서와 같이 슷돌의 앞면 부분에 있어서 빈도수가 넓게 분포됨을 알 수 있다. 트래버스 연삭의 경우 전체적인 슷돌 마모를 볼 때 슷돌 앞면의 입자들은 입자 마모보다는 탈락에 의한 슷돌 마모로 볼 수 있으며, 슷돌 뒷부분의 경우 입자들의 탈락은 회박하여 입자 마모에 의한 슷돌 마모로 볼 수 있음을 표준 편차와 히스토그램에서 확인할 수 있다. 그러므로 표준 편차나 히스토그램을 이용하여 가공물의 표면 거칠기 정도를 예상할 수 있다. Fig. 10은 트래버스 연삭 과정에서 측정된 표면 거칠기 변화를 나타낸 것이다. 가공이 진행되면서 표면 거칠기는 일정 값에 수렴되는 특징을 보이고 있다. 이는 트래버스 연삭의 경우 가공물이 미소하게 마모된 슷돌 뒷부분 입자들에 의해 마무리 가공이 이루어지는 데 기인하는 것으로 사료된다.

4. 결론

본 연구에서는 슷돌 마모량을 측정하여 가공 시에 보정할 목적으로 플런지 및 트래버스 연삭에 LSM을 이용한 슷돌 마모 모니터링 장치를 적용하였다. 측정의 정확성을 높이기 위해 간섭계를 이용하여 연삭 테이블의 이송오차를 측정하여 측정된 연삭 슷돌 마모량을 보정하였다. 모니터링 실험 결과 슷돌 마모량 측정은 물론 측정된 데이터로부터 슷돌의 형상을 재현할 수 있었으며 적절한 드레싱 시기를 결정할 수 있었다. 또한, 표준 편차 및 히스토그램을 이용하여 슷돌의 표면 상태 및 표면 거칠기 변화를 예측할 수 있었다. 플런지 연삭의 경우 가공의 진행에 따라 마모가 커지면서 표면이 거칠어지는 특성을 보였으나, 트래버스 연삭의 경우 가공이 진행되면서 슷돌의 마모가 일어나는 영역이 넓어지면서 표면 거칠기 상태는 개선되는 것을 확인하였다.

참고문헌

1. 김현수, 홍성욱, "기상에서의 표면 거칠기 측정에 의한 연삭 공정 모니터링," 한국정밀공학회지, Vol.16, No.1, pp. 167-173, 1999.
2. 홍성욱, 남경모, 김현수, "연삭 슷돌 직경 및 회전오차의 비접촉 측정 방법, 한국정밀공학회지, Vol.12, No.13, pp. 175-181, 1995.
3. 김현수, 주광훈, 홍성욱, 박천홍, "연삭 슷돌 마모 모니터링에 관한 연구," 한국정밀공학회 추계학술대회, 고려대학교, 1999.
4. E. Brinksmeier, F. Werner, "Monitoring of Grinding Wheel wear," Annals of the CIRP, Vol. 41, pp. 373-376, 1992.