

숫돌면의 직접관찰에 의한 드레싱 시기 최적화

김 선 호*, 안 중 환**, 박 화 영*

* 한국기계연구원 자동화연구부, ** 부산대학교 기계공학부

본 연구에서는 숫돌면의 직접관찰에 의해 적정한 드레싱 시기를 결정하는것에 관한 연구를 수행했다. 이를 위해, 와전류센서를 숫돌주위에 설치하여 숫돌면의 눈막힘량을 비접촉식으로 직접 측정하므로써 숫돌의 상태를 검출했다. 숫돌의 재생작용에 의한 正常研削과 눈막힘에 의한 異常研削의 구분은 검출된 눈막힘량과 가공면 표면거칠기의 상관관계(Relational Locus)을 통해 드레싱 시기를 결정했다. 또한 이때의 숫돌면의 상태를 레이저 변위센서를 이용해 측정하고 3차원 Topography로 표현했다. 본 논문에서는 이러한 내용들에 대한 실험적 결과들을 소개한다.

1. 서 론

연삭가공은 기계가공의 마지막 단계에 속하는 가공으로서, 연삭가공면의 거칠기 및 형상정도가 제품의 품질에 직접 영향을 주게 된다. 특히 연삭가공면은 숫돌의 입자 및 기공의 상태 등 숫돌의 표면상태에 의존하기 때문에 연삭가공시에는 주기적인 드레싱 작업이 필요하게 된다. 연삭과정에서 부적절한 드레싱 시기의 결정은 비가공시간 증대 및 제품의 품질에도 좋지 않은 영향을 주게되어 바람직하지 않다.

가공면의 품질에 영향을 미치는 숫돌면의 상태를 검출하기 위해 많은 연구가 있어 왔다. 간접적인 방법으로는 연삭가공시 발생하는 불꽃의 색변화를 관찰하여 숫돌의 상태를 추정하거나⁽¹⁾, AE 신호의 에너지값의 변화를 이용해 숫돌면의 눈막힘(Loading)량을 추정하거나⁽²⁾, 드레싱시 발생하는 AE 에너지값을 이용해 숫돌의 손상상태를 추정하는 연구⁽³⁾가 있어 왔다. 그러나 간접적인 방법의 경우, 연삭기의 구조, 센서의 설치위치 등 주변환경의 영향을 받기 쉬웠다. 직접적인 방법으로는 광(光)반사를 이용해 숫돌입자의 마모면적이나 입자면의 형상을 관찰하는 방법^(4,5), 磁氣장치를 통해 눈막힘량을 직접측정하는 방법⁽⁶⁾, 화상을 이용하는 방법^(7,8) 등이 연구되어 왔으나 측정시간과 설치문제 등 해결해야 할 과제가 많이 남아있는 실정이다.

본 연구에서는 숫돌면의 직접관찰에 의해 적정한 드레싱 시기를 결정하는것에 관한 연구를 수행했다. 이를 위해, 와전류센서를 숫돌주위에 설치하여 숫돌면의 눈막힘량을 비접촉식으로 직접 측정하므로써 숫돌의 상태를 검출했다. 숫돌의 재생작용에 의한 正常研削과 눈막힘에 의한 異常研削의 구분은 검출

된 눈막힘량과 가공면 표면거칠기의 상관관계(Relational Locus)을 통해 드레싱 시기를 결정했다. 또한 이때의 숫돌면의 상태를 레이저 변위센서를 이용해 측정하고 3차원 Topography로 표현했다. 본 논문에서는 이러한 내용들에 대한 실험적 결과들을 소개한다.

2. 연삭숫돌의 마멸 모델링

입자, 기공, 결합체로 구성된 숫돌의 수명은 입자의 마멸(Glazing), 칩의 부착으로 인한 눈막힘(Loading)에 의한 기공 역할의 저하, 연삭버어닝(Burning) 그리고 결합력의 약화에 의한 입자 탈락에 크게 의존한다. 올바른 연삭조건에 의해 정상적인 연삭이 진행되는 경우, 숫돌은 재생작용에 의해 눈막힘이 일어난 입자는 떨어져 나가고 새로운 입자가 가공을 담당하게 된다. 이 경우에도 규칙적인 탈락이 일어나는 것이 아니고 부분적인 입자탈락이 발생하게 되기 때문에 가공면의 거칠기가 점진적으로 나빠지며 개선된다고 볼수는 없다. 그러나 재생작용이 정지되고 눈막힘이 급속히 진행되면 가공면 거칠기는 급속히 나빠지게된다. 연삭숫돌의 마멸 모델을 Fig. 1에 나타내었다. Fig. 1 a)는 연삭시간에 따른 눈막힘량의 변화를 나타낸 것으로 어느 정도까지는 재생작용이 일어나고 있으나 화살표 이후에는 재생작용이 일어나지 못하고 눈막힘 현상이 급증하게 된다는 것을 보여 준다. Fig. 1 b)는 연삭시간 증가에 따른 가공면 거칠기의 변화를 나타낸 것으로서 화살표 이후에는 거칠기가 급증하는 것을 보여 주고 있다. Fig. 1 c)는 숫돌면의 눈막힘과 공작물 표면거칠기의 관계를 상관관계적으로 나타낸 것

이다. 재생작용이 일어나고 있는 동안에는 상관패적 내에서 변화를 하지만, 재생작용이 더 이상 일어나지 않는 화살표 지점에서는 상관패적 영역을 탈출하게 된다. 따라서 이 시점을 정상연삭과 이상연삭 발생 시점으로 구분이 가능하다. 따라서 본 연구에서는 상관패적의 영역을 정상연삭구간으로 모델링했다.

3. 와전류 센서의 원리 및 기초특성 실험

숫돌의 눈막힘은 숫돌의 기공에 피가공물이 들어 붙는 현상이며, 눈막힘이 생기면 연삭성이 떨어지고 슬립현상을 거쳐 연삭크랙으로 진전된다. 본 연구에서는 연삭숫돌의 눈막힘을 측정하기 위해 와전류 센서를 사용했다.

눈막힘에 의해 숫돌의 기공에 박힌 금속량을 측정하기 위한 와전류 센서는 Fig. 2와 같이 고주파발진회로와 검출코일로 구성된다. 고주파발진회로에 의해 형성된 자속 ϕ_1 내에 금속물체가 있으면 물체 표면에 와전류가 발생하고 그 반대방향으로 자속 ϕ_2 가 발생해 발진회로측의 전력손실로 되어 발진회로의 진폭전압의 변화로 나타난다. 본 연구에서는

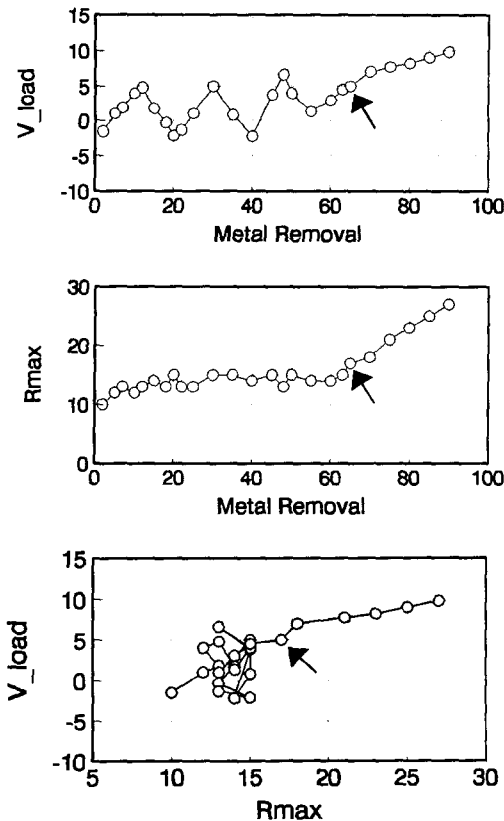


Fig. 1 Modeling of Wheel Loading.

거리센서로 사용되는 상용 와전류센서를 이용해 숫돌의 눈막힘 상태를 검출했다.

숫돌의 기공에 붙은 금속량을 와전류센서를 이용한 측정가능성을 검증하기 위한 기초특성 실험을 수행하였다. 실험은 연삭 칩을 가로와 세로가 30mm 인 사각평면의 단위면적에 골고루 뿌린 후 표면에서 1mm 높이에서 측정하였다. 측정결과를 Fig. 3에 나타 내었다. 금속량에 따라 직선성은 있으나 편차가 있는 것은 칩의 분포에 따른 결과 이다. 이러한 실험을 통해, 와전류센서를 이용해 숫돌표면의 눈막힘 현상을 측정하는 것이 가능하다는 것을 알수 있었다.

4. 실험장치 구성

연삭실험은 범용 원통연삭기에서 수행되었다. 연삭기의 주축은 2,158rpm 그리고 이송속도는 0.5mm/min로 고정하여 실험했으며, 사용된 숫돌은 WA60K7V(127X305X25mm)이며 재료로는 S45C 그리고 SCM4가 사용되었다. 숫돌의 눈막힘을 측정하기 위한 와전류센서는 상용제품(Keyence, EX-422) 이 전류측정기와 연결되어, 숫돌의 금속량을 볼트값으로 측정했다. 숫돌의 표면상태를 측정하기 위한 레이저변위센서는 30mm 기준높이에서 ± 3 mm의 측정 범위를 0.2 μ m 분해능으로 측정이 가능한 센서

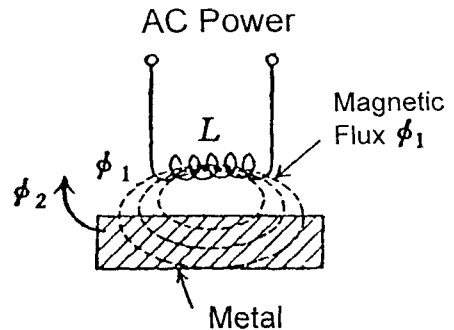


Fig. 2 Eddy Current Sensor

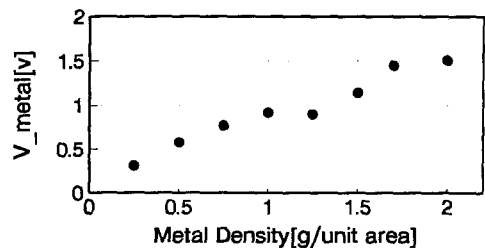


Fig. 3 Eddy Current Output with Variations of Metal Density

'Keyence LC2440)가 사용되었다. 사용된 센서는 Spot 면적이 35X20 μ m이며 센서 제어기에서 최대 20 kHz로 변위값을 출력한다. 이에 대한 구성을 Fig. 4에 나타 내었다. 그림에서 Photo Interrupt는 레이저 변위센서에 의해 연속적으로 측정된 슷돌표면을 Topography로 표현하기 위한 기준원점값을 잡기 위해 사용되었다.

5. 연삭실험 및 고찰

연삭스틀 마멸 모델의 적합성을 검증하고 재생작용에 의한 정상연삭과 눈막힘의 진전에 의한 이상연삭을 구분하기 위한 상관패적의 성능을 확인하기 위해 실험을 수행하였다.

Fig. 5는 WA60K7V(127X305X25mm) 슷돌을 이용해 SCM4 원형봉을 연삭실험한 결과이다. Fig. 5 a)에 가로축에 연삭량(mm)을 세로축에 눈막힘량(mV)을 나타내었으며 Fig. 5 b)는 가로축은 동일하며 세로축은 Rmax(μ m)를 나타 내었다. 실험은 14개 시험편을 사용했으며 각각 연삭을 종료한 후 눈막힘량을 측정하고 시험편의 거칠기를 측정하였다. Fig. 5 a)에서 동일 시험편에 대해 4개의 데이터(1-4 Pos)는 슷돌의 외주부분을 90도 간격으로 측정한 결과이다. 그림에서 보이듯이 눈막힘은 전 슷돌면에 걸쳐 비슷하게 발전하고 있음을 알 수 있다. 초기 시험편에서 눈막힘량이 음의 값을 가지는 것은 초기에 磁化된 연삭칩(Chip)이 슷돌면에 달라 붙는 현상이며 눈막힘은 아닌 것으로 판단된다. 그림에 보이듯이 10번 시험편까지는 재생작용이 정상적으로 발생하여 입자의 탈락에 의해 눈막힘이 제거되고 있으나 11번째 시험편부터는 재생작용이 발생하지 못하고 눈막힘이 급진전되고 있다. 이러한 슷돌의 상태는 Fig. 5 c)와 같이 가공물의 거칠기에 바로 반영되어 거칠기값의 증가 경향이 바뀌고 있다.

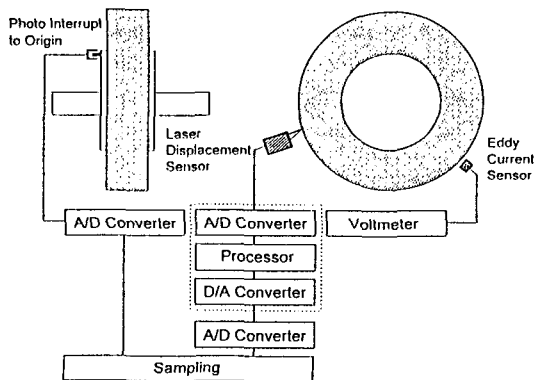


Fig. 4 Experimental Setup

스틀의 눈막힘량과 가공면거칠기의 상관패적을 Fig. 5 c)에 나타내었다. 그림에 보이듯이 11번째 시험편의 경우 이상연삭에 따라 정상연삭을 나타내는 상관패적을 이탈하고 있음을 알 수 있다. 따라서 이 시점을 슷돌수명이 종료된 것으로 판단할 수 있다.

Fig. 6은 회전하는 연삭스틀을 레이저 변위센서를 이용하여 측정한 후 3차원 Topography로 표현한 예이다. 슷돌표면의 변위값은 10kHz로 샘플링하였으며 Photo Interrupt 신호를 이용해 슷돌 1회전을 구분하였다. Fig. 6 a)는 드레싱을 수행한 후 슷돌상태이며 Fig. 6 b)는 11번째 시험편을 연삭한 후 상태이다. 그림에서 보이듯이 재생작용의 반복으로 슷돌면의 요철이 증가했음을 보이고 있다.

Fig. 7은 Fig. 6에 대한 변위 신호중에서 중간부분 1회전 신호를 추출하여 나타낸 결과이다. 드레싱을 수행한 슷돌상태에 비해 입자탈락이 발생한 5번째의 경우 슷돌면의 요철의 간격이 넓어졌음을 알 수 있으며, 눈막힘이 진전된 11번째의 경우 요철의 간격은 좁아 들었으나 요철의 깊이가 커지고 슷돌면의 위치에 따라 요철간격의 차가 발생하고 있으

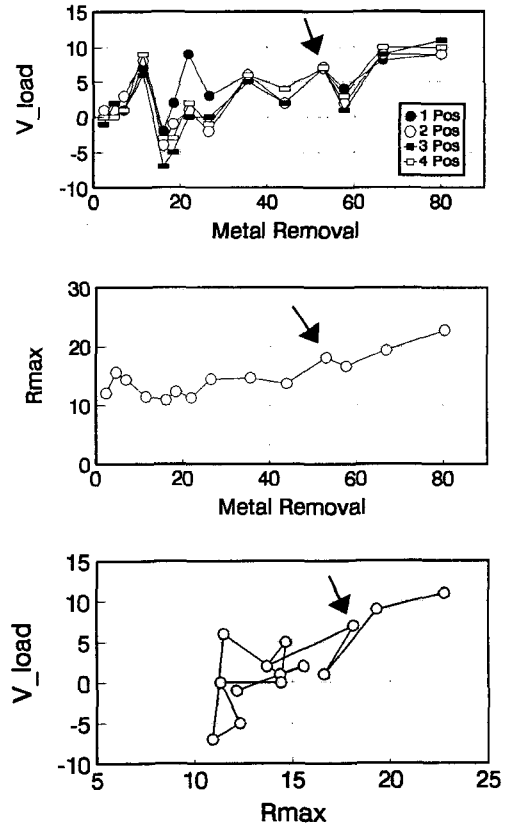


Fig. 5 Relational Locus for SCM4 Workpiece

며, 다시 입자가 탈락한 12번째의 경우 요철의 진폭과 깊이가 모두 증가하고 있음을 알 수 있다. 연삭숫돌 마멸모델의 일반성을 확인하기 위해

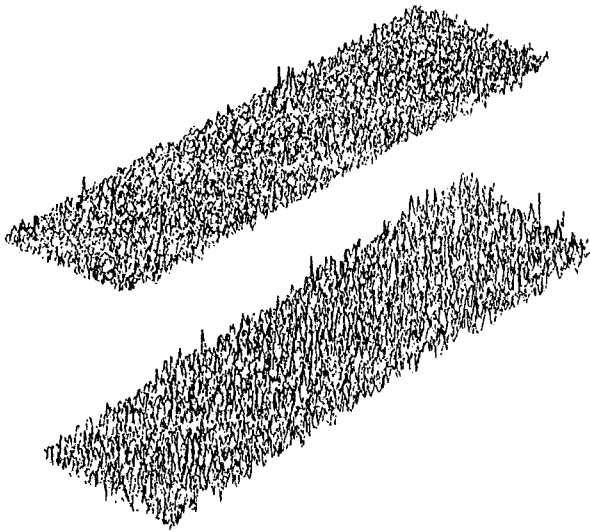


Fig. 6 Wheel Surface Topography

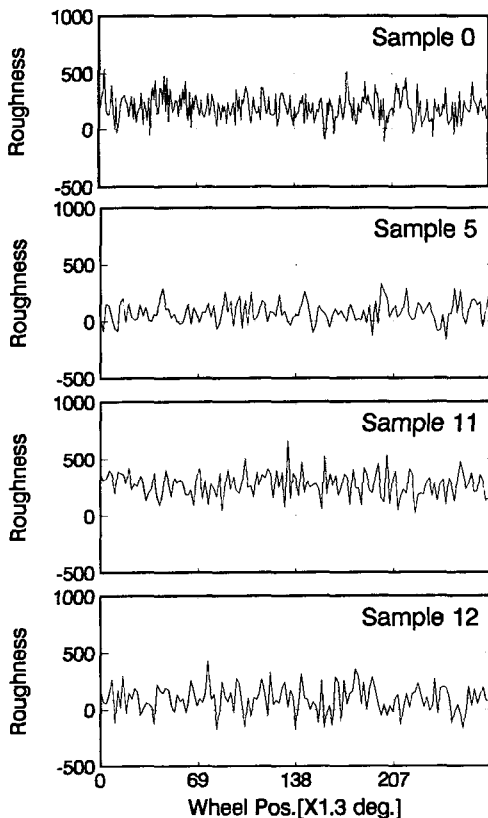


Fig. 7 Wheel Surface Variations

SCM4에 비해 경도가 낮은 S45C에 대해 연삭실험을 수행하였다. Fig. 8은 이러한 실험결과를 나타낸 것으로서 앞의 실험과 같이 14개 시험편에 대해 실험을 수행했다. Fig. 8 a)에 보이듯이 9번 시험편까지는 재생작용이 일어나고 있으나 10번 시험편에서는 눈막힘현상이 급격히 일어나고 있으며 이후 입자탈락이 이어지고 있다. 이에 대한 상관패적을 Fig. 8 b)에 나타내었다. 10번째 시험편부터 이상연삭에 의해 상관패적을 이탈하고 있음을 알 수 있다. 이는 앞의 결과와 동일한 형태를 나타내고 있다. Fig. 8 c)는 연삭량의 증가에 따른 레이저 변위센서의 레이저광의 반사강도를 나타낸 것이다. 그림에 보이듯이 연삭이 진행되면 입자의 배열이 변화되고 숫돌면의 요철이 커짐에 따라 레이저광의 반사강도가 약해짐을 알 수 있다. 그러나 눈막힘현상이 커지면 반사강도가 커지는 것은 연삭칩이 기공을 매우기 때문에 요철의 간격이 좁아지기 때문이다. 그러나 반사강도를 숫돌상태 검출용으로 사용하기에는 와전류 신호에 비해 감도가 민감하지 못함을 알 수 있다.

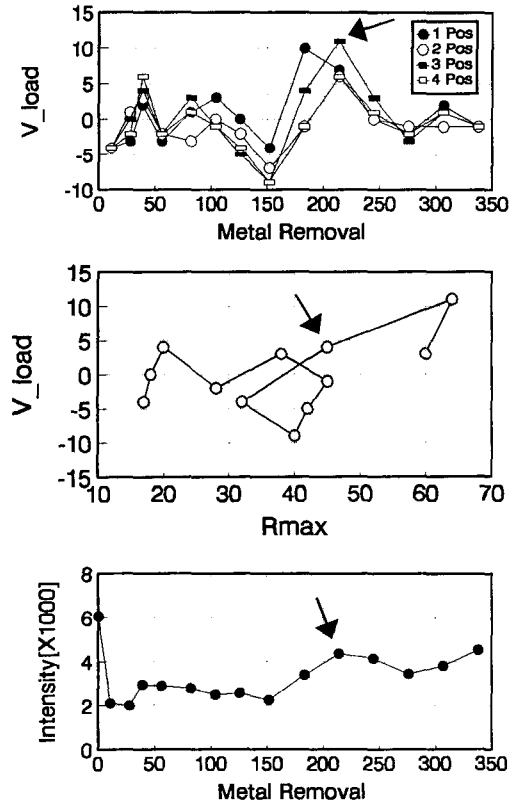


Fig. 8 Relational Locus for S45C Workpiece

6. 결 론

본 연구에서는 슷돌면의 직접관찰에 의해 적정한 드레싱 시기를 결정하는것에 관한 연구를 수행했다. 이를 위해, 와전류센서를 슷돌주위에 설치하여 슷돌면의 눈막힘량을 비접촉식으로 직접 측정하므로써 슷돌의 상태를 검출했다. 슷돌의 재생작용에 의한 正常研削과 눈막힘에 의한 異常研削의 구분은 검출된 눈막힘량과 가공면 표면거칠기의 상관패적(Relational Locus)을 통해 드레싱 시기를 결정했다. 또한 이때의 슷돌면의 상태를 레이저 변위센서를 이용해 측정하고 3차원 Topography로 표현했다. 이러한 연구를 통해 다음과 같은 결과를 얻을 수 있었다.

- 와전류센서에 의해 슷돌면 눈막힘 현상의 측정이 가능했으며, 슷돌의 재생작용을 관찰할 수 있었다.
- 제안된 눈막힘량과 가공면거칠기의 상관패적은 정상연삭과 이상연삭의 판단에 유효했다.
- 레이저 변위센서를 이용하여 슷돌면의 Topography 표현이 가능했으며, 슷돌의 상태에 따른 슷돌면의 변화에 대한 직접관찰이 가능했다.

참고문헌

- [1] Eda, H., et al., "In-Process Detection of Crinding Burn by Means of Utilizing Acoustic Emission", J. of JSPE. Vol.49, No.9, pp1257-1262, 1983
- [2] Dornfeld, D. and Cai, H. G.i, "An Investigation of Grinding and Wheel Loading Using Acoustic Emission", Transactions of the A.SME, Vol. 106, 1984
- [3] Inasaki, I. "Monitoring and Optimization of Internal Grinding Process", Annals of the CIRP Vol.40, 1991
- [4] 須藤徹也, "砥石切れ刃の新しい測定装置", 精密機械, 34, 9, pp.606, 1968
- [5] 三好隆志, 齊藤勝政, "光學的フーリエ變換による砥石作業面性狀の評價" 精密機械, 48, 8, pp.1045, 1982
- [6] 山本明, 前田良昭, "磁氣ヘッドを用いた研削目づまりのインプロセス測定", 精密機械, 37, 4, pp.253, 1971

[7] 後藤英一, "砥粒摩耗のインプロセス測定(第2報)", 精密工學會誌, Vol.61, No.12, pp.1735-1739, 1995

[8] 細川昱, "畫像解析による砥石作業面の評價(第1報)", 精密工學會誌, Vol.62, No.9, pp.1297-1301, 1996