

숫돌 마멸량에 따른 연삭가공물의 표면특성

The Surface Characteristics of Workpiece by Wear of Wheel

하만경 · 곽재섭 · 곽태경

M. K. Ha, J. S. Kwak, T. K. Kwak

Key Words : Grinding process(연삭공정), Surface roughness(표면거칠기), Wear amount(마멸량), Grinding force(연삭력), Surface grinding(평면연삭)

Abstract : The surface roughness is one of important parameters to obtain the high quality of products in grinding process. In precision components, it's level must be limited to a certain range. This study evaluated experimentally grinding characteristics of workpieces in the surface grinding process. The grinding forces were obtained to compare with the grindability of workpieces such as STD11, STS304 and STB2. The surface roughnesses on various workpieces were measured according to increasing the feed and the depth of cut. In addition, the wear amount of wheels according to the number of grinding were obtained. Also the grinding wheel and the ground surface were observed with a microscopic instrument.

1. 서론

연삭공정은 제품의 최종 마무리 가공으로서 많이 활용되고 있으나, 가공에 관련된 파라메타를 정량화하기 어려워 기능공의 주관적 경험이나 숙련 정도에 대부분 의존하고 있는 실정이다. 따라서 무엇보다 중요한 하고 꼭 필요한 문제는 연삭가공의 다양한 파라메타를 정량화 하는 것이다.

연삭가공은 제품의 정밀도 향상 및 품질을 결정짓는 마무리가공으로 금속 절삭가공 중에서도 높은 정밀도를 가지는 가공이며, 연삭 가공물은 숫돌의 표면상태에 따라 품질이 결정된다. 따라서 연삭가공에서의 표면 거칠기는 가공물의 정도를 나타내 줄 수 있는 정량적인 수치로 사용되며, 제품의 최종정밀도를 좌우하는 중요한 요소이다^{1~3)}.

표면거칠기에 영향을 주는 요인은 직접적 또는 상호간의 관계에 의해 영향을 받는다. 먼저 표면거칠기에 영향을 주는 인자는 크게 4가지로 분류되고 각각 연삭 숫돌의 표면상태, 가공물의 특성,

연삭숫돌과 가공물의 운동학적 관계로 나눌 수 있다. 또한, 세부적으로 살펴보면 연삭숫돌의 구조적·조직적 특성, 드레싱기술이 영향을 미치고, 가공물의 특성에는 경도와 기계적인 물성치 등이 있고, 연삭숫돌과 가공물의 운동학적 관계에는 연삭조건, 연삭숫돌과 가공물의 적합성 등이 영향을 미친다. 또한 연삭유제와 진동 등도 관련이 있다^{4~5)}.

일반적으로 연삭가공은 다른 절삭가공에 비해 대체로 공구의 마멸이 빨리 진행되고, 숫돌마멸에 따른 연삭가공물의 표면이 나빠진다. 연삭가공에서 실제로 연삭작용을 하는 것은 숫돌 작업면에 돌출되어 있는 다수의 연삭입자의 절삭날이다⁶⁾. 그러므로 절삭날의 끝모양이 연삭성능에 지대한 영향을 줄뿐만 아니라, 다듬질면의 거칠기 및 치수 정밀도에도 크게 영향을 주게된다. 그러므로 숫돌의 종류와 연삭재료에 따른 여러 가지 절삭조건이 연삭입자에 미치는 영향을 분석하여 정량화된 파라메타를 만들 수 있다면 품질이 우수한 제품을 생산할 수 있을 것이다^{7~8)}.

본 연구에서는 숫돌마멸에 따른 연삭특성을 파악하기 위해서, 연삭조건변화에 따른 연삭저항력변화와 공작물의 연삭가공 후의 표면에 대해 표

접수일 : 2001년 5월 4일

하만경, 곽재섭 : 부경대학교 기계공학부

곽태경 : 부경대학교 대학원

면 거칠기(R_a)값을 측정하였으며, 이 공작물과 슷돌의 표면을 금속현미경(Microscope)사진으로 촬영(배율: 100배)하여 표면 거칠기와 연관한 미시적 관찰을 실시하였다⁹⁾. 또한, 가공횟수에 따른 슷돌의 마멸량을 측정하고, 그에 따른 연삭가공물의 표면 특성을 실험적으로 고찰하였다.

2. 이론 해석

2.1 연삭비

연삭가공에서 연삭의 경제성을 현실적으로 평가하기 위해서는 얼마나 슷돌이 제 성능을 발휘하는가를 알아야한다. 이 슷돌 성능의 유용한 지표가 되는 것이 연삭비(G)이다.

연삭가공 속도가 적절하고 가공중인 작업에 알맞은 슷돌을 사용했을 때라도 재료에 따라서 금속 제거율이 달라지는 것을 확인할 수 있다. 낮은 재료 제거율은 생산성은 떨어지나 슷돌의 수명을 연장시키고, 높은 재료 제거율은 약간의 슷돌 수명의 희생으로 생산성을 향상시킨다. 대부분의 가공현장에서 재료제거율은 제품당 최소 총연삭비용에 기초하여 선택된다. 일반적으로 최소 총연삭비용점은 제품당 휠비용과 제품당 인건비, 간접비가 거의 같은 점에서 구해진다.

연삭비는 주어진 시간에 제거된 공작물의 체적을 일정한 조건하에서 같은 시간에 소모된 슷돌의 체적으로 나누어 구할 수 있다.

연삭비를 구하는 일반화된 이론식은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$V_w = b \cdot \Delta t \cdot l \quad (1)$$

$$V_s = 2 \pi \cdot b \cdot \Delta r \quad (2)$$

$$G = \frac{V_w}{V_s} \quad (3)$$

여기서 V_w 는 공작물의 제거된 체적을 V_s 는 슷돌의 제거된 체적을 나타낸다. 또한 $b, \Delta t, \Delta r$ 은 각각 가공물에서 가공된 폭, 절입 깊이의 변화량, 감소된 슷돌의 반경의 변화량이다. 이 식에서 알 수 있듯이 연삭비가 높을수록 슷돌의 수명이 길어진다. 그러므로 같은 조건 하에서 연삭비가 증가하다가 다시 감소하는 시점을 연삭 수명 점으로 볼 수가 있다.

3. 실험조건 및 고찰

본 실험에 사용된 실험조건들을 Table 1에 나타내었다. 슷돌은 입도가 #100, #80인 WA스�돌을 사용하였고, 공작물은 STD11, STS304, STB2를 사용하였다. 가공조건으로는 슷돌 주속도를 1,800rpm으로 일정하게 유지하고, 테이블 이송속도는 2~5m/min, 절입깊이는 5~20 μ m까지 변화시키면서 가공하였다.

Table 1 Experimental conditions

Grinding machine	Horizontal spindle surface grinder
Workpiece	STD11, STS304, STB2
Wheel	WA100, WA80
Conditions	Wheel speed : 1,800rpm
	Table speed : 2~5m/min
	Depth of cut(t) : 5,10,15,20 μ m
	Up & Plunge & Wet
Fluids	Shell lubricant (soluble type, 10:1)
Dressing conditions	Dressing stick : Single point diamond
	Depth of cut : 10~30 μ m

Table 2 Hardness of workpiece

Workpiece	STD11	STS304	STB2
H _B (kgf/mm ²)	255	187	201

Fig. 1은 실험장치의 개략도를 나타낸 것이다. 연삭저항력 측정을 위해 공구 동력계를 연삭기 베드 위에 설치하고 가공물에 드릴구멍을 내서 가공물과 공구 동력계를 고정하였다.

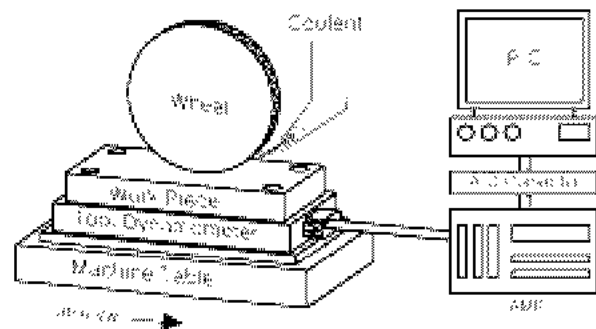


Fig. 1 Experimental set up

공구 동력계에서 발생된 신호는 앰프를 통해서 증폭시킨 후 A/D변환기를 통해 디지털화시켜 PC로 저장했다. 표면 거칠기는 촉침식 표면조도기를 사용하여 측정하였고, 공작물 표면사진은 금속현미경으로 확대하고 디지털카메라로 촬영되었다. Table 2는 가공물의 경도(H_B)를 나타낸 것이다.

4. 실험결과 및 고찰

4.1 연삭력

Fig. 2는 STD11, STS304, STB2의 공작물을 이송속도가 각각 2~5m/min 일 때 법선방향 연삭저항력을 절입깊이에 대해 각각 비교한 것이다. 이송속도가 2m/min 일 때보다 5m/min 일 때 법선방향 연삭저항력은 더 크게 나타났다. STS304는 연성인 특성으로 인해 숫돌의 눈메움현상이 심화되고 이로 인해 절삭력이 감소한 것으로 사료되어진다.

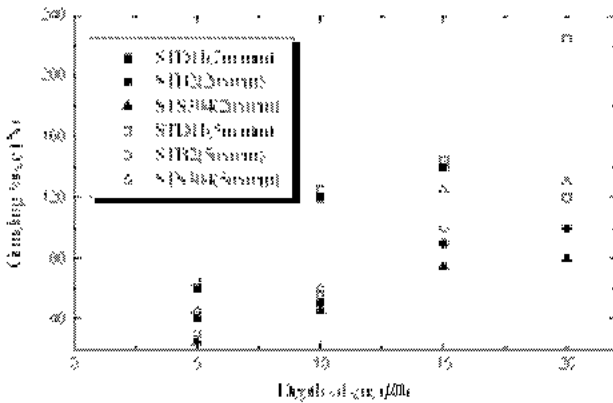


Fig. 2 Variation of grinding force according to depth of cut (#100)

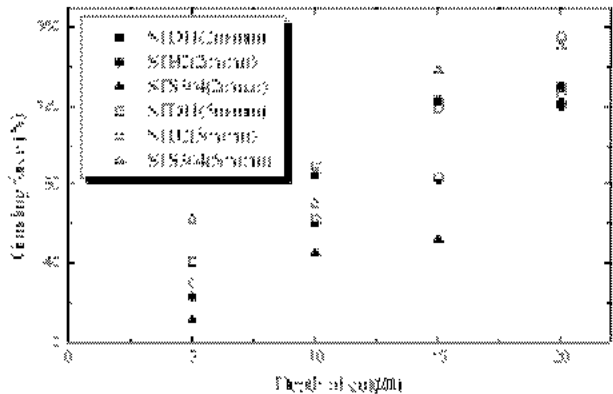
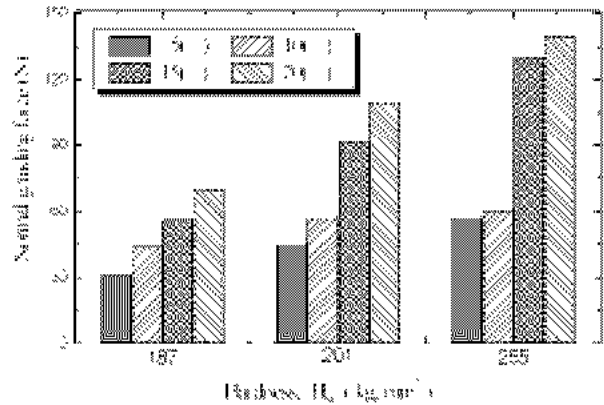
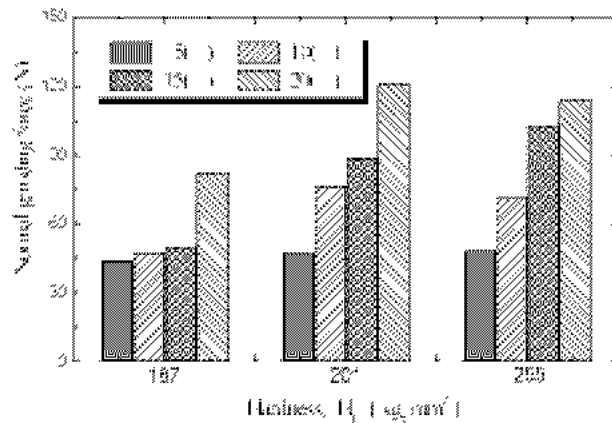


Fig. 3 Variation of grinding force according to depth of cut (#80)



(a) Feedrate 2(m/min)



(b) Feedrate 5(m/min)

Fig. 4 Relationship between grinding force and hardness

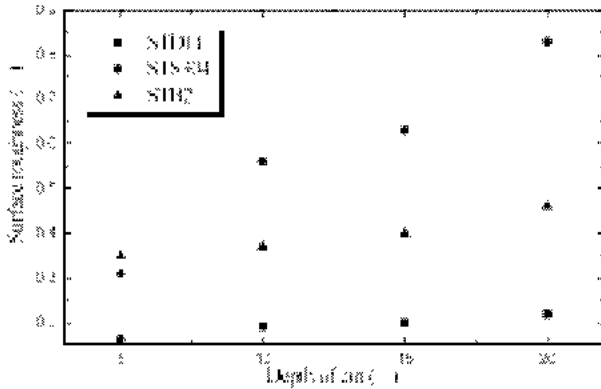
Fig. 3은 #80 숫돌에서의 법선방향 연삭저항력을 절입깊이에 대해 나타내고 있다. 절입깊이의 증가에 따라 연삭력이 상승하였다.

Fig. 4는 테이블의 이송속도와 절입깊이를 변화시켰을 때 각 공작물의 경도에 따른 연삭력을 비교, 분석한 것이다. 연삭력은 이송속도의 변화에 대해서 2m/min 보다 5m/min일 때 더 큰 값을 가졌고, 경도와 절입깊이의 증가에 대해서는 비례하여 증가하는 경향을 보였다. 그러므로 경한 강(Steel)일수록 연삭력은 더 크게 나타났다.

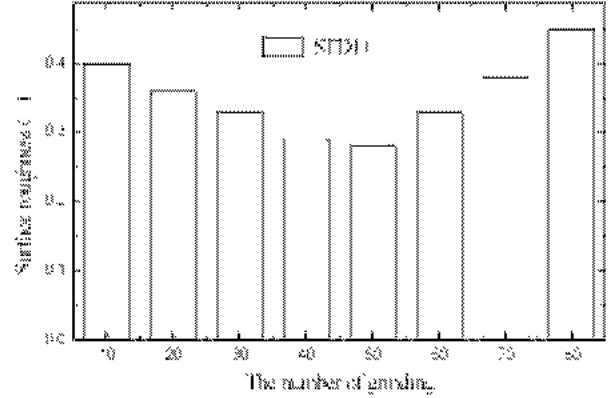
Fig. 2~4에서 법선방향 연삭저항력은 이송속도에 영향을 받고 숫돌의 입도에도 많은 영향을 받는 것으로 사료되어진다. 또한 가공물의 특성에 따라 많은 차이점이 나타났다.

4.2 표면 거칠기

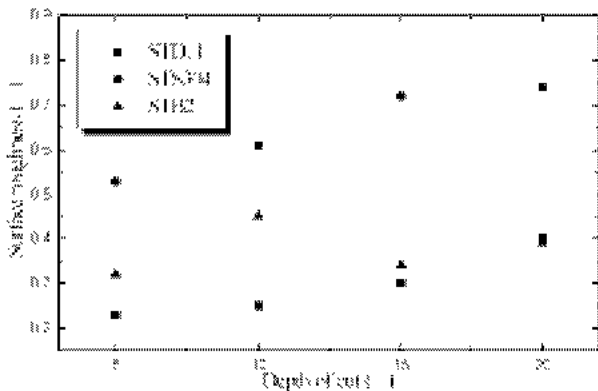
Fig. 5는 STD11, STS304, STB2의 절입깊이에 따른 표면 거칠기를 나타낸 것이다. Fig. 5 (a)는



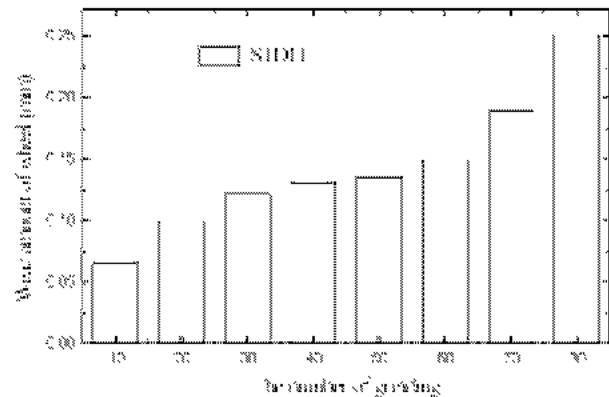
(a) Feed 2m/min



(a)



(b) Feed 5m/min



(b)

Fig. 5 Variation of surface roughness

이송량이 2m/min일 때의 절입깊이에 따른 표면 거칠기로 절입깊이가 증가함에 따라 표면 거칠기가 전반적으로 증가하고 있다. 이송량이 5m/min인 Fig. 5 (b)에서도 전반적으로 증가하고 있음을 보이고 있다. 동일한 절입깊이에 대해서, 이송속도에 상관없이 표면 거칠기는 STD11, STB2, STS304 순으로 변화하고 있음을 보이고 있다.

4.3 마멸량

Fig. 6은 STD11공작물을 이용하여 절입깊이를 10 μ m로 일정하게 유지하여 가공횟수에 따른 숫돌의 마멸량과 가공물 표면 거칠기를 측정된 것이다.

Fig. 6 (a)에서 가공횟수가 10회씩 증가할수록 표면 거칠기값은 감소하다가 50~60회 사이에서 증가함을 알 수 있다. 이것은 연삭횟수가 증가할수록 숫돌입자의 절삭날이 마멸되어 표면 거칠기 값이 낮아지다가 50~60회 사이에서 숫돌입자의 불규칙한 자생작용으로 거칠기 값이 높아지는 것으로 사료된다.

Fig. 6 Surface roughness and wheel wear amount according to the number of grinding

Fig. 6 (b)에서는 가공횟수에 따른 숫돌의 마멸을 측정된 것이다. 가공횟수가 증가함에 따라 숫돌의 마멸율이 감소하다가 50~60회에서 급격히 상승함을 알 수 있다. 이는 숫돌입자의 불규칙한 탈락현상으로 인해 숫돌입자들이 탈락해서 숫돌의 마멸율이 증가한 것으로 사료된다.

Fig. 7에서는 가공횟수에 따른 연삭비를 나타내었다. 여기서 연삭비는 숫돌의 체적 감소량에 대한 공작물의 체적 감소량으로 정의된다. 그리고 가공횟수 60에서부터 연삭비가 떨어짐을 알 수 있다.

Fig. 6과 7에서 50~60사이에서 연삭비는 감소하고 숫돌의 마멸율은 증가함을 알 수 있었다. Fig. 8은 공작물과 숫돌의 금속현미경 사진으로 가공 전과 60회 가공 후의 시편이고, 또한 드레싱 후의 숫돌과 60회 가공후의 숫돌의 표면을 보여주고 있다.

Fig. 8에서 보여진 것처럼 실제의 금속현미경 사진에서도 60회 가공 후 눈때움(Loading)이 줄어들고 숫돌의 자생작용이 일어나고 있음을 확인할 수 있었다.

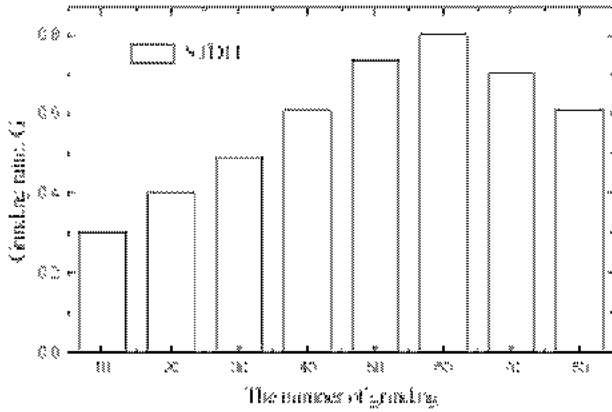


Fig. 7 Relationship between the number of grinding and the grinding ratio

을 알 수 있었다. 또한, 강의 정도의 증가에 따라 비례적으로 증가함을 알 수 있었다.

2) 가공횟수에 따른 숫돌의 마멸량과 표면 거칠기는 가공횟수가 10회씩 증가할수록 표면 거칠기 값은 감소하다가 50~60회에서 최소값을 이루고 50~60회에서부터 숫돌입자의 불규칙한 자생작용으로 거칠기 값이 역으로 높아짐을 알 수 있었다. 가공횟수에 따른 숫돌의 마멸율을 측정된 결과에서 가공횟수가 증가함에 따라 숫돌의 마멸율이 감소하다가 50~60회에서 급격히 상승함을 알 수 있다. 이는 숫돌입자의 과도한 탈락으로 숫돌의 마멸율이 증가한 것으로 사료되어진다.

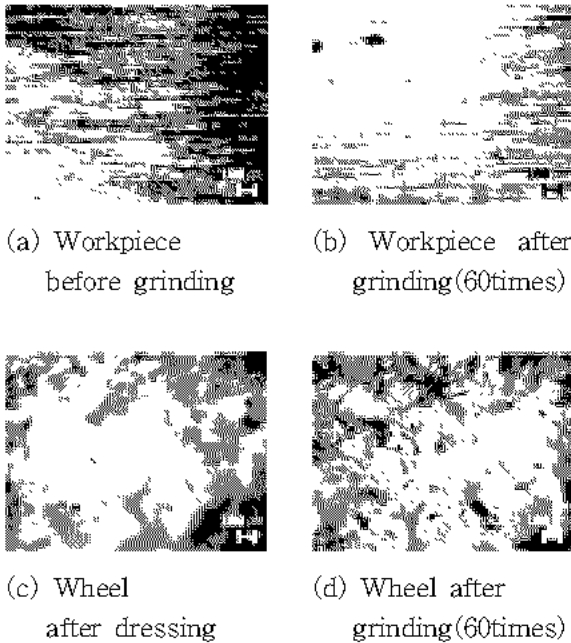


Fig. 8 Comparison between surface photographs of workpiece and wheel

참고문헌

1. 박재섭, 송지복, "AE 신호를 이용한 연삭 가공물의 표면 거칠기 예측," 한국정밀공학회지, 제17권, 제4호, pp. 240~246, 2000
2. J. R. Crookall, M. C. Shaw, N. P. Suh, "Principles of Abrasive Processing," Clarendon Press · Oxford, pp. 261~264, 1996
3. 이종찬, "초연마재를 이용한 연삭," 문운당, pp. 141~160, 1998
4. S. Malkin, "Grinding Technology Theory and application of machining with abrasives," Ellis Horwood, pp. 220~224, 1989
5. R. S. Figliola, D. E. Beasley, "Theory and Design for Mechanical Measurements 2nd," John Wiley & Sons, pp. 269~271, 1995
6. 손명환, "절삭가공론," 문운당, pp. 211~218, 1996
7. 남기준, "기계가공기술시리즈 7," 성안당, pp. 135~137, 1997
8. Stuart C. Salmon, "Modern Grinding Process Technology," Mc Graw Hill, pp. 201~204, 1997
9. Smith, "Structure and Properties of Engineering Alloys," Second Edition, Mc Graw Hill, pp. 591~611, 1993

5. 결론

본 연구에서는 숫돌 마멸량에 따른 연삭특성을 분석하기 위해 STD11, STS304, STB2의 가공물을 #100, #80의 WA숫돌로 가공하여 연삭력, 표면 거칠기와 숫돌 마멸량을 구하고 각각의 값을 비교, 고찰하여 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1) STD11, STS304, STB2에서 연삭력은 절입깊이가 증가하고 이송속도가 증가할수록 연삭력은 증가함