

범용 연삭 슷돌의 고능률 단속 연삭특성 (Grinding characteristics of High Efficient Intermittant Grinding Wheel with Conventional Grinding Wheel)

이 상철*, 홍 순익(부산대 대학원),
구 양(부경대학교 기계공학과), 송 지복(부산대학교 정밀기계공학과)

ABSTRACT

This paper experimentally describes the grinding characteristic of discontinuous grinding wheels in creep-feed grinding. In creep-feed grinding, grinding temperature increases rapidly and thermal damage such as a burn occurs on a workpiece. Discontinus grinding wheel with Conventional grinding wheel shows an exellent cooling effect has been developed. The wheels have 6, 12, 24 pieces of slotted which compare with characteristics of each wheels

Keyword : Creep feed grinding(크리프피드연삭), Discontinues grinding wheel(단속연삭스�돌), Conventional grinding wheel(범용연삭스�돌), Grinding characteristic(연삭특성)

1. 서 론

연삭가공에 영향을 미치는 인자가 많아 언제나 가변성을 갖고 동일한 조건에서도 재현성이 없는 것이 그 특징이지만 부정형(不定形)의 미소 절연에의해 매우 빠른 속도로 절삭이 이루어지기 때문에 실용성이 높은 정밀가공법으로 널리 활용되어 왔으나 시대의 변천에 따라 생산력 향상을 위해 연삭특유의 고품질을 유지하면서 제거율을 높이는 것이 필연적으로 요구되고 있다.

이를 위해 1960년 이후부터 고속연삭과 크리프피드(Creep feed)연삭의 연구가 진행되어 지금에 이르고 있으나 아직도 범용화하기에는 많은 문제점들을 지니고 있다.

단공정 고능률 연삭을 위한 크리프피드 가공은 원패스(one pass)로 피삭재면에 형상을 창성하기 때문에 접촉을 개시할 때 충격반복이 없고, 필형사의 전단 드립(shear droop)이 적다.

또, 절입량을 크게 하였을 때 가공면은 거칠어지고, 슷돌 작업면상의 각입자가 받는 부하는 커져 슷돌 손모양의 증가와 더불어 연삭입자 간섭부의에 국소적인 고온으로 가공면의 열손상이 일어난다.⁽¹⁾

이와같은 문제점을 해결하기 위해 연삭속도비(V_s/V_w)를 크게 하므로써, 발생된 칩이 미세화되어 저항과 가공면이 개선되고 나아가 입자의 간섭영역이 축소되어 마찰열의 발생을 억제할 수 있지만 능률의 문제로 이송속도의 감소는 한계가 있다.

이러한 연삭부위에서 발생하는 과도한 열손상(형상오차, 가공변질층)을 줄이는 하나의 방법이 연삭유제의 공급인데, 슷돌이 고속으로 회전을 하고 있기 때문에 슷돌 주변에는 공기 벨트로 불리우는 공기의 흐름이 생겨 연삭액이 연삭점으로 유입하는 것을 방해 한다.

따라서 유제 공급방법을 개선시키기 위한 노력이 활발하게 이루어지고 있는데, 노즐위치나 수를 조정하는 방법, 공기 차단판을 설치하거나 고압으로 유제를 공급하는 방법 혹은 다공질체 슷돌 안에 유제를 일단 침전시켜 연삭점에서 슷돌 외부로 공급시키는 방법등이 연구가 되고 있다.⁽²⁾

또 다른 방법의 하나가 단속스�돌을 이용하는 방법으로 가공시 연삭유제와 공기가 직접공급이 됨으로 인해서 냉각효과와 칩의 배출이 용이하게 됨으로 인해서 형상오차와 표면거칠기의 향상을 기한 연구가 있었고, 고인성 재료를 일반연삭스�돌로 가공할 때 발생하는 로딩(loading)과 번 아웃(burn-out)을 감소

시킴을 위해서, 범용 스톨가공면에 흠을 형성시켜 단속 연삭스톨을 형성하여 연삭저항 및 연삭열을 저하시켜 가공정도와 표면거칠기를 향상시킨 보고가 있었으며⁽¹⁾, 단속스톨의 연삭시 이동열원에 대한 열 모델을 구하고 온도예측에 관한 연구가 있었다.⁽³⁾

본 연구에서는 일반적으로 널리 쓰이고 있는 범용 연삭스톨을 다이아몬드 톱(Diamond saw)를 이용하여 흠을 형성시켜 단속연삭스톨을 제작하고, 크립피드시 흠의 수를 달리하면서 연삭특성을 알아보았다.

2. 본론

2.1 연삭가공시의 표면 거칠기

연삭가공시의 표면거칠기는 많은 요인들에 의해서 영향을 받는데 다음과 같이 크게 세가지로 분류를 할 수가 있다.

첫째로 연삭스톨입자의 크기, 스톨의 직경, 입도, 결합제의 종류등 연삭스톨에 의한요인, 그리고 둘째로 스톨의 드레싱 상태, 스톨의 마모, 공작물의 종류에 의한요인, 마지막으로가공속도, 이송속도, 연삭유제의 종류와 공급방법에 기인한 가공조건 등으로 분류를 할 수가 있다.

Fig. 1은 표면거칠기를 기하학적으로 도시를 한 것이다

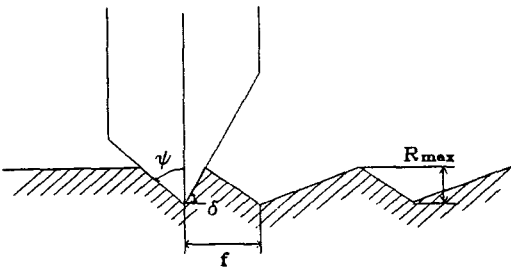


Fig.1 Schematic of surface roughness

여기서 f : 1회전당 이송, δ : 페이스각, ψ : 리드각

2.2 연삭가공시의 형상오차

중연삭 가공법에서 절입깊이가 증가하기 때문에 연삭 스톨입자와 공작물사이의 간섭 길이가 증가하

기 때문에 피삭재의 상면과 하면의 온도차에 의한 열응력이 발생하여 공작물의 열변형이 생기게 된다.

연삭열에 의해 공작물이 변형된 상태에서 가공이 되고, 가공 종료후 공작물의 온도가 실온으로 떨어지면 공작물이 원래의 모양으로 복귀하여 형상오차가 발생하게 되는데, 이때 발생하는 형상오차의 크기는 재료의 물성치와 재료의 형상에 따라 차이가 있다.⁽⁴⁾

2.3 단속 연삭스톨의 일반적인 열 모델

단속 연삭스톨의 열 모델을 세우기 위해서 아래 그림과 같이 열원의 모델을 간단히 할 수가 있다.

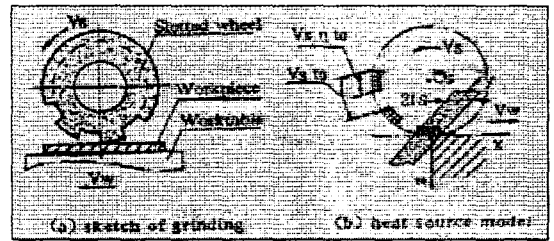


Fig. 2 Heat source model for periphery intermittent grinding

이때 반 무한체(semi-infinite body)의 냉각효과를 고려한 이동열원의 온도분포의 미분방정식은 다음과 같다.(3)

$$\frac{\partial T^2}{\partial x^2} + \frac{\partial T^2}{\partial y^2} + \frac{\partial T^2}{\partial z^2} = \frac{1}{\alpha} \left[\frac{\partial T}{\partial t} - V_w \frac{\partial T}{\partial x} \right]$$

$$T(x, y, z, t) = 0$$

$$-k \frac{\partial T}{\partial z} \Big|_{z=0} + hT(x, y, z, t) \Big|_{z=0} = 0$$

위의 미분방정식을 줄여서 단속연삭시의 온도 θ 를 다음과 같은 식으로 간단히 할 수가 있다.

$$\theta = \pi \int_K^0 [E(\xi) \exp(-\frac{Z^2}{4\tau^2}) - K_h(Z, \tau)] K_x(X, \tau) d\tau$$

여기서,

$$K_x(X, \tau) = [(1-c)(X+2\tau^2) / L + 1] \times \left[\operatorname{erfc} \left(\frac{X+L}{2\tau} + \tau \right) - \operatorname{erf} \right]$$

$$E_k(Z, \tau) = \pi H r \exp(HZ + H^2 \tau^2) \operatorname{erfc}\left(\frac{Z}{2\tau} + H\tau\right)$$

$$\text{단, } X = \frac{V_w x}{2a}; \quad Z = \frac{V_w z}{2a};$$

$$L = \frac{V_w l_s}{2a}; \quad H = \frac{2ah}{kV_w};$$

$$K = \sqrt{\frac{V_w^{2t}}{4a}}; \quad \zeta = (n + \eta)t_0 - 1;$$

$$\eta = bs_1 / bs; \quad t_0 = bs / V_w;$$

$$n = \{ t / t_0 \} \text{int};$$

bs1 : 연삭가공시에 접촉하는 부분의 길이

bs : 홈부분의 길이 η : 단속비

t_0 : 열원의 단속시간

erf : 에러 함수(error function)

erfc : 에러 보정 함수(error function complement)

2.4 단속숫들의 제작

단속 연삭숫들은 Fig. 3에서 보는바와 같이 일반 연삭숫들에 공구연삭기를 사용하여 홈을 형성시켜 숫들을 가공하였으며, 홈을 숫들의 측면에서 숫들의 센터와 일정한 각도 γ 로 가공을 했으며, 단속연삭에서 중요한 인자인 실제 가공시에 접촉하는 부분과 접촉하지 않는, 즉 홈에 해당하는 부분의 비율 단속비 η 라고 하여 다음과 같이 나타낼수 있다.

$$\eta = \frac{L_1}{L_0 + L_1}$$

여기서 L_0 : 홈의 길이, L_1 : 가공시 실제 접촉하는 부분의 길이를 나타낸다.

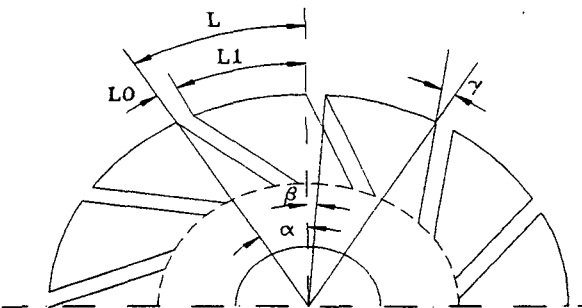


Fig.3 Schematic diagram of discontinuous wheel

숫들은 규격이 205×25.0×50.80인 WA80K7V를 사용하였으며, 홈은 공구연삭기를 사용해서 6, 12, 24개의 홈을 만들어서 각각의 명칭을 S6, S12, S24라고 명칭을 했다.

Table 1은 자체 제작한 숫들의 사양들이다.

Table 1 The significant fo slotted grinding wheel

Grinding wheel	Number of groove	Dividing angle α°	Length of groove	Effective grinding wheel length	Intermittant ratio
S6	6	60	6	101	0.94
S12	12	30	6	47.5	0.89
S24	24	15	6	20.8	0.78

3. 실험장치의 구성 및 실험

3.1 실험장치

다음 Table 2는 연삭실험조건을 나타낸 것이다.

Table 2 Experimental equipment and grinding condition

Grinding machine	<ul style="list-style-type: none"> Model : HYDRAULIC SURF ACE GRINDING MACHINE SGH-6 Main shaft motor : FELQ-5 1.5kw 2P Yasukawa Wheel speed : 2450 RPM
Grinding wheel	<ul style="list-style-type: none"> Type : Conventional(WA80K7 V), S6, S12, S24 Shape : 205×25.0×50.80
Workpiece	Material : STD 11
Grinding method	Up cut & One pass
Table speed	0.6, 0.4, 0.3 m/min
Depth of cut	10~100 μ m
Dressing	<ul style="list-style-type: none"> Dresser : Single point diamond Depth of cut : 20 μm
Torque meter	<ul style="list-style-type: none"> Type : SS-500 Capacity : 5kgf-m Max speed : 6000 rpm
Grinding fluid	W2종2호 10% dilution

실험시 이송의 정밀도를 높이기 위해서 LM가이드를 설치 했으며, 시편은 100×18×25의 크기를 가진 STD11을 마그네틱 척(magnetic chuck)에 의한 열변형을 고려하기 위해서 지그를 제작했으며, 열에 의한 굽힘변형 발생시 중립축에 위치하게 되기 때문에 시편높이의 1/3위치에 육각 볼트를 사용하여 고정하였다.

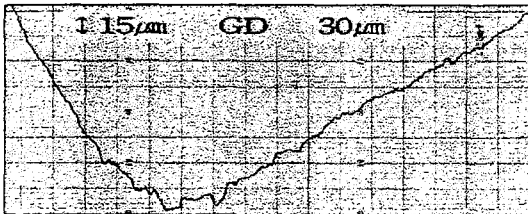
습식 연삭시에 가장 큰 문제가 되는 절입개시 위치를 확인하기 위해서 AE신호처리 프로그램인 MIS-TRAS를 사용하여 AE-RMS를 이용해 정확한 절입개시와 일정한 드레싱조건을 유지할 수 있었다.

또한, 각 실험마다 토크메타를 이용하여 토크를 측정하였다.

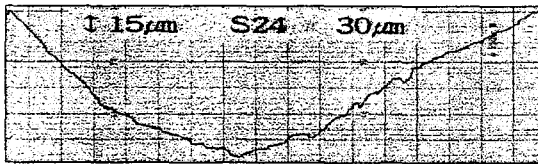
4. 결과 및 고찰

4.1 건 연삭특성

Fig 4는 일반 연삭숫돌(GD)와 홈의 수가 24개인 단속숫돌(S24)을 크릴피드가공법에 적용했을 때, 냉각효과를 파악하기 위해서 절입깊이를 30 μ m으로 했을 때의 형상정도를 표면조도계로 측정한 값이다.



(a) Convention wheel



(b) 24 pieces wheel

Fig.4 Geometric error according to each wheel

위의 실험결과에서 알 수 있듯이 유제를 공급하지 않아도 단속숫돌의 홈에 직접공기가 공급되어서 약 30 μ m 정도의 형상오차의 개선효과를 기대할 수 있었으며, 소요동력도 12.5%의 감소가 일어난 것으로 나타난다.

4.2 단속비에 따른 형상오차

일반적인 크릴피드연삭 가공법에서는 가공시에 연삭유제를 사용해서 습식연삭을 하고 있다.

따라서 실험에서는 W2중2호의 연삭유제를 10%로 희석시키고, 노즐을 제작해서 유량공급의 최적화를 시키고, 유량을 8 l/min로 고정시킨 다음, 절입깊이를 20~80 μ m까지 20 μ m씩 증가시켜가면서 단속비에 따른 표면거칠기와 형상오차를 구하고, 각 실험에서 절입을 60 μ m로 했을 때의 동력을 구하였다.

Fig 5는 절입깊이에 표면거칠기를 시편에서 3지점(가공시작점에서 30, 60, 85mm)에서 각각 3번씩, 각 시편에서 9번을 측정하여 최대치와 최저치를 제외한 값들로 평균을 낸 것이다,

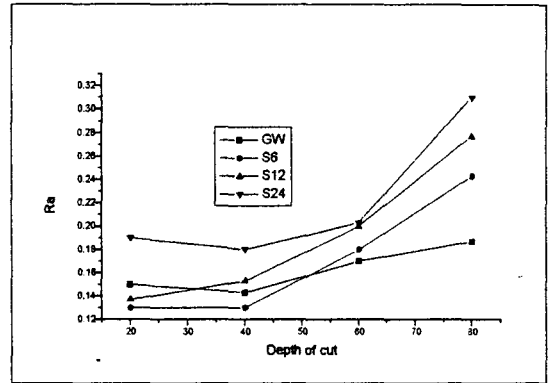
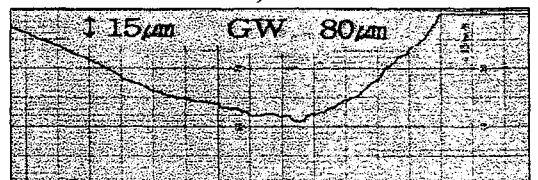


Fig.5 Relationship between Depth of cut and surface roughness(Ra)

위의 결과에서 보듯이 표면거칠기는 절입깊이가 50 μ m까지는 S6이 가장 좋은 것을 알 수가 있고, 50 μ m가 넘어가면 일반 연삭숫돌에 비해서 단속숫돌들의 거칠기가 급격히 나빠지는 것을 알 수가 있다.

즉, 아주 정밀한 가공에서는 일정 절입깊이 이상에서 단속숫돌을 이용할 경우 표면정도가 나빠져 사용할 수가 없다.

Fig 6은 절입깊이를 80 μ m로 했을 때의 형상정도를 나타낸 것이다.



(a) Conventional wheel : 80 μ m



(b) 6 pieces wheel : 80 μ m



(c) 12 pieces wheel : 80 μ m



(d) 24 pieces wheel : 80 μ m

Fig.6 Geometric error according to each wheel

형상오차는 단속비에 비례해서 감소한다는 것을 알 수 있으나, 단속비가 증가하면 숫들의 마모가 심하게 증가할 수가 있으며 비경제적이다.

5. 결론

범용숫돌을 이용한 고능률 단속 연삭특성 실험을 통해서 단속비에 따른 연삭특성을 파악할 수가 있었으며, 다음과 같은 결론을 얻을 수가 있었다.

- ① 건연삭에서도 단속숫돌을 사용해서 가공을 하면 형상오차를 크게 감소시킬 수 있다.
- ② 단속비가 크면 형상오차를 줄일 수는 있지만 상대적으로 표면거칠기가 나빠져 고정도 가공이 어렵다.
- ③ 일정 절입깊이에서 단속비와 동력은 무관하다.

참고문헌

1. K. Nakayama, J. Takaji and T. Abe, "Grinding Wheel with Helical Grooves-an Attempt to Improve the Grinding performane", CIRP, No.1, pp.133-183, 1977
2. "연삭가공", 기계기술, 1995, pp.112-116
3. Seiki Matsui, " Grinding Characteristic of Segmental Wheel", JSPE, 52, pp.35-41, 1986
4. H. W. Zheng, " A General Thermal Model for Grinding with Slotted or Segmented Wheel", CIRP, Vol.43, No.1, pp.287-290, 1994
5. Robert S. Hahn, " On the Universal Process Parameters Governing the Mutual Maching of Workpiece and Wheel applied to the Creep-Feed Grinding Process", CIRP, Vol.33, 1984, pp.198-192
6. Shigeki Okuyama, " Study on the Flatness in Surface Grinding", JSPE, 52, pp.69-74