

주속200m/sec 영역에서의 원통플런지 연삭특성

주종길*(울산대원, 기계자동차공학부), 박규열, 전종업(울산대, 기계자동차공학부)

Characteristics of cylindrical plunge grinding in 200m/sec of grinding velocity

J. K. Ju*(Graduated school, Univ. of Ulsan), K. Y. Park, J. U. Jeon (Univ. of Ulsan)

ABSTRACT

In this paper, grinding characteristics of cylindrical plunge grinding in 200m/sec of grinding velocity was investigated by use of vitrified CBN wheel. From the experimental result, it was convinced that grinding power is decreased 2.5times and grinding efficiency is heightened 3times more according to increasing wheel velocity 80m/sec to 200m/sec And also, be expected to improvement of surface roughness and roundness by increasing the wheel velocity.

Key Words : Cylindrical grinding(원통연삭), Plunge grinding(플런지연삭), Infeed rate (절입속도), Grinding velocity (연삭속도), Grinding power(연삭동력), Surface roughness(표면거칠기)

1. 서론

절삭속도와 절삭온도에 관련하여 절삭속도의 고속화에 의한 효과를 구체적으로 제시한 것은 C. Salomon의 연구로 알려져 있다. 이후 1950년대에 이르러 일정한 속도이상에서는 소성변형이 끝나기 전 취성변형이 이루어진다는 Von Karman의 임계층 격속도설에 의해 난삭재의 절삭이 가능하다는 이유로 총포류 제작을 중심으로 매우 활성화 되었다⁽¹⁾. 연삭가공의 경우 일반적으로 절삭공정 이후의 마무리 공정으로 이용되어 가공능률보다는 가공의 정도에 중점을 두며 발전하여왔다. 하지만 연삭에서도 고정도화, 고능률화에 대한 필요성이 대두되면서 연삭속도(Grinding velocity)의 향상에 대한 지속적인 연구가 이루어져 왔다. 이러한 고능률 연삭의 일환으로 슛돌주속(이하, 연삭속도와 혼용)을 고속화하는 연구가 진행되고 있으며, 공작기계의 고정도, 고강성화와 초지립 슛돌(Super abrasive wheel)의 개발 등에 힘입어 주속400m/sec 이상의 초고속 영역에서의 연삭실험 결과도 발표되어 있다⁽²⁾.

한편, 국내에서는 초고속 연삭에 관한 연구가 미비한 상태이며, 생산기술을 대상으로 하는 초고속 연삭의 정량적인 데이터 또한 부족한 실정이다. 따라서 본 연구에서는 초고속 연삭가공의 범주에

당하는 주속 200m/sec의 연삭속도 영역에서 발견되는 연삭특성과 적용효과를 조사하기 위하여 원통플런지 연삭을 대상으로 초고속 연삭가공을 수행하였다. 구체적으로는 일반 연삭가공에서 비교적 높은 연삭속도에 해당하는 주속 80m/min의 연삭결과와 초고속 연삭가공에 해당하는 주속 200m/sec의 연삭결과를 가공능률과 정밀도의 관점에서 정량비교함으로써 초고속 연삭가공의 생산기술적 가치에 관하여 고찰하였다.

2. 초고속연삭의 효과

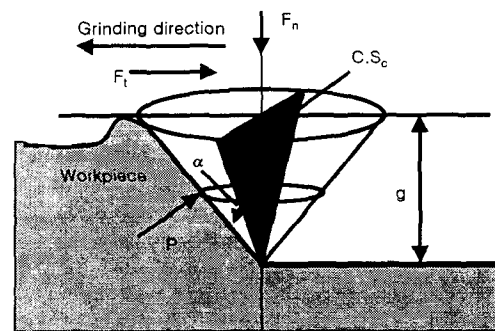


Fig. 1 Modeling of abrasive in grinding process

Fig.1은 연삭가공 중에 단위입자를 원추형으로 단 순화하여 나타낸 것이다. V 를 스톨주속도, v 를 공 작물속도라 하고 b 를 연삭폭이라 하면 연삭저항은 다음과 같은 식으로 나타낼 수 있다.

$$F_n = E \left(\frac{\pi v \Delta b}{2V} \right) \tan \alpha$$

여기서 E 는 단위체적 연삭에 필요한 에너지이 다. 만일 E 가 스톨속도와 무관하다면 연삭저항은 속도비(v/V)에 비례하게 된다. 따라서 이론적으로 스톨의 속도를 증가시키면 동일한 조건 하에서 공 작물속도를 비례적으로 증가시킬 수 있다⁽³⁾. 공작 물속도는 평면연삭의 경우에는 연삭방향으로의 이 송속도를 말하며 이송속도의 증가는 연삭능률의 증 가($Q = v\Delta$)를 의미한다. 그러나 원통풀는지 연삭에 서 연삭능률은 단위시간당 절입량(Δ) 즉 절입속도 (Infeed rate)에 의하여 결정된다. 한편 단위체적제거 에너지 E 의 경우 상기에서 속도에 무관하고 일정하 다고 전제하였지만 실제적으로는 가공조건에 따라 변하게 되며 체적제거량에 비례하게 된다. 체적제 거량은 연삭입자의 절삭깊이와 관련이 있으며 절삭 깊이는 D 를 스톨직경이라 하고 a 를 평균입자간격 (Mean active grit spacing)이라 할 때 다음과 같은 식 으로 나타낼 수 있다.

$$g = 2a \left(\frac{v}{V} \right) \sqrt{\frac{\Delta}{D}}$$

스톨주속의 증가는 실질적으로 연삭가공에 사용되 는 연삭입자수의 증가를 의미하며 이는 단위입자의 절삭깊이를 감소시키게 된다⁽⁴⁾. 따라서 스톨주속이 증가하면 입자당의 단위체적 제거량이 적어지며, 따라서 연삭저항이 감소되는 결과가 얻어진다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1 연삭실험 장치 및 방법

연삭실험에는 Fig. 2에 나타낸 자동차용 캠연삭에 사용되는 CNC 원통연삭기의 기존 주축부에 실험용 으로 제작한 고속용 주축부를 장착하여 사용하였다. 실험용 주축의 경우, 최고회전수가 11,000rpm(스톨 주속: 200m/sec)이며, 회전수 조절을 위한 인버터를 부착하였다. 본 실험에 적용한 연삭조건은 Table 1과 같으며, 연삭방법은 축방향 이송이 없는 플런지연 삭을 적용하였다. 또한 스톨주속이 연삭특성에 미 치는 영향을 조사하기 위한 실험에서는 원통플런지 연삭이 일반 트래버스연삭과는 상이하게 연삭특성 이 절입속도에 크게 좌우되는 점을 고려하여 스톨 주속과 공작물 속도비를 이용하였다. 스톨주속은

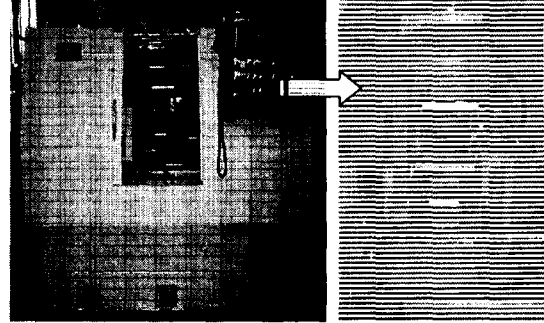


Fig. 2 CNC cylindrical grinding machine

Table 1. Condition of grinding experiment

Grinding machine	CNC Cylindrical Grinding machine (HYUNDAI MOTORS CO., LTD)
Grinding Wheel	Vitrified Bond CBN Wheel 350φ× 20U× 3XW× 80H
Work Material	Chilled cast iron , SCM 435
Grinding Method	Cylindrical Plunge Grinding
Wheel Speed	80, 120, 160, 200 m/sec
Infeed rate	0.5 – 3.0mm/min
Work Speed	38-380 rpm
Grinding Fluid	Soluble Type

최대 200m/sec까지를 적용하였으며, 고속연삭을 위하여 개발된 비트리파이드(Vitrified) 결합재의 CBN (Cubic Boron Nitride)스톨을 사용하였다. 연삭실험의 결과는 표면거칠기와 소비동력 및 진원도를 측정하고, 연삭에서 얻어지는 칩의 형태를 관찰하고 이를 통하여 초고속 연삭특성 및 적용효과 등에 관하여 고찰하였다.

3.2 실험결과 및 고찰

(a) 스톨주속과 소비동력의 관계

원통플런지 연삭에서 스톨주속과 공작물의 속도 비에 따른 소비동력의 추이를 조사하였다. Fig. 3에 나타낸 바와 같이, 연삭실험에서는 연삭조건과 공작물 재질에 따라서 다소 차이는 있으나 5kw 내외의 값이 측정 되었다. 무부하 운전시 증가한 소비동력을 고려하여 실제 연삭에 사용된 실소비동력 (Net power)을 살펴보면 주속을 80m/sec에서 200/sec로 증가시킬 경우 2.5배 이상의 소비동력의 감소를 보인다. 이와 같은 결과는 전기의 고속연삭의 효과에서 언급한 바와 같이, 동일한 연삭조건 하에서 스톨주속이 증가하면 단위체적의 연삭에 작용하는 연삭입자의 수가 증가하는 것과 동일한 결과로 되

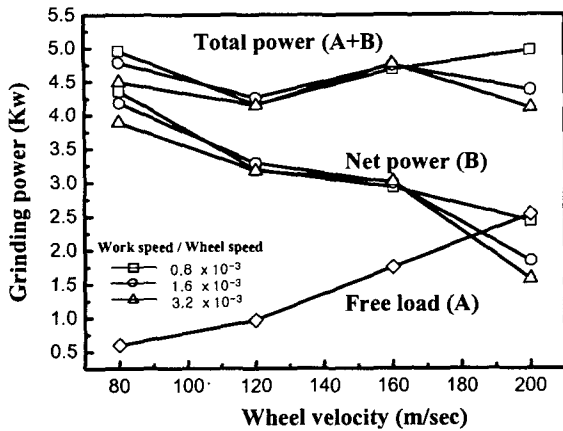


Fig. 3 Grinding power - wheel velocity(SCM 435)

어 단위입자당 체적 제거량이 감소하는 효과에 기인하는 것으로 판단할 수 있다. 결국 연삭가공시 주속증가에 의한 실소비동력의 감소 효과로 주속을 80m/sec에서 동일한 소비동력으로 200m/sec 까지 주속을 증가시킬 수 있음을 알 수 있다.

(b) 슷돌주속과 가공능률의 관계

연삭가공에서 능률을 향상시킨다는 것은 단위시간당의 연삭량이 증가하는 것을 의미한다. 플런지연삭의 경우에는 절입속도를 증가함으로써 단위시간당의 연삭량을 증가시킬 수 있다. 단, 동일 주속의 조건에서 연삭량의 증가는 일반적으로 소비동력의 증가와 표면거칠기의 악화를 초래하게 된다. Fig. 4는 절입속도에 따른 소비동력의 변화를 측정한 결과이다. 전체 절입량이 3mm로 일정할 때 절입속도의 변화는 가공시간의 변화를 나타내며 일정 주속 하에서 절입속도를 증가시키면 소비동력이 선형적으로 증가하는 것을 알 수 있다. 절입속도를 1mm/min에서 3mm/min으로 증가시키면 가공시간은

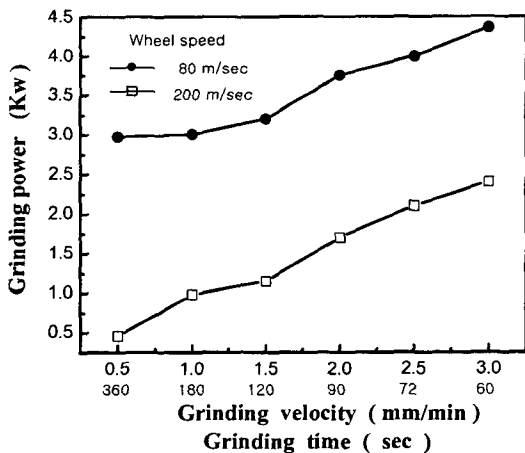


Fig. 4 Grinding power - Infeed rate (SCM435)

1/3로 줄어든다 이때 소비동력을 살펴보면 3kw에서 4.3kw까지 증가 하게 된다. 하지만 동일 가공조건 하에서 주속을 200m/sec까지 높이면 소비동력은 2.5kw까지 감소하는 것을 볼 수 있다. 이러한 결과는 주속 증가에 따른 소비 동력의 감소 효과로서 절입속도 증가로 인한 소비동력의 증가를 보상할 수 있다는 사실을 시사하여주며, 결과적으로는 현재 80m/sec의 주속으로 연삭가공을 수행하는 경우 주속을 200m/sec로 증가시킴으로써 비교적 낮은 소비동력 하에서 가공능률을 3배 이상 향상시킬 수 있다는 것을 확인 할 수 있다.

(c) 슷돌주속과 표면거칠기의 관계

스틀주속과 공작물의 표면거칠기의 관계를 조사한 결과를 Fig. 5,6에 나타낸다. 실험에 사용된 칠드주강과 SCM435의 재료특성의 차이에도 불구하고 표면거칠기는 유사한 값을 나타내었으며 구체적으로 주속 80m/sec에서 4.5 μ m였던 표면거칠기가 주속의 증가에 따라 점차 개선되어 200m/sec에서는 0.3 μ m 전후의 값을 가지는 것으로 확인되었다. 이러한 결과는 슷돌주속의 증가가 단위입자의 연삭깊이를 감소시키게 되며 단위체적의 제거에 사용되는 입자의 수가 증가하는 효과를 통하여 표면거칠기가 향상된 결과이다. 결과(b)에서 언급한 바와 같이 가공능률을 높이기 위해 절입속도를 증가시키면 표면거칠기가 악화되지만 주속을 증가시킴으로써 가공능률 향상과 더불어 비교적 양호한 표면상태의 제품가공이 가능하다는 것을 확인할 수 있었다. 한편 절삭깊이에 따른 표면거칠기의 차이는 연삭 후에 칩의 크기 및 형태를 SEM을 사용하여 관찰한 Fig. 7의 결과를 통해서도 확인 가능하다. 그림에서 보듯이 전체적으로 슷돌주속의 증가에 따라 칩의 크기가 감소하게 되며 공작물의 재질에 따라 상이한 칩의 형태를 가지는 것을 알 수 있다. 특히, 칠드

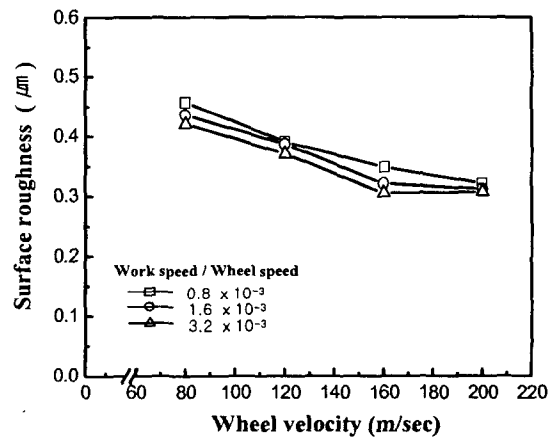


Fig. 5 Surface roughness - wheel velocity (SCM435)

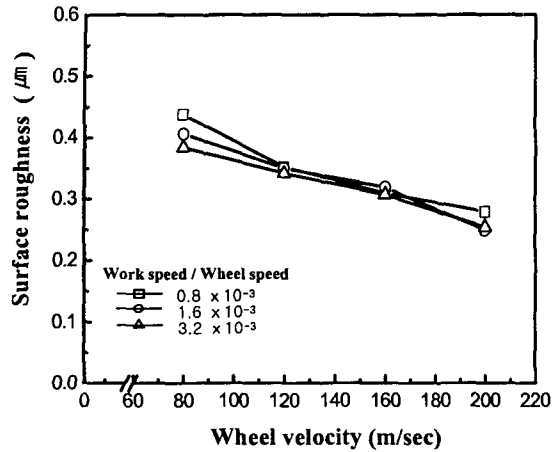


Fig. 6 Surface roughness - wheel velocity (Chilled cast iron)

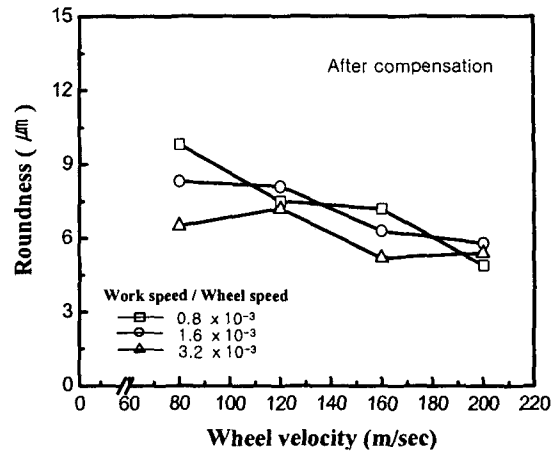


Fig.8 Roundness - wheel velocity (SCM435)

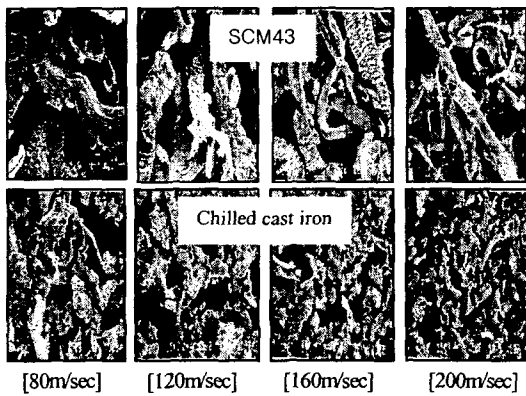


Fig. 7 SEM view of grinding chip - wheel velocity

주강의 경우에는 비교적 높은 취성을 가지면서 흑연이 다량 함유되어 있는 재료특성으로 인하여 단속적이며 잘게 부서진 형상을 가지는 것으로 판단할 수 있다.

(d) 슷돌주속과 진원도의 관계

Fig.8은 슷돌주속이 진원도에 미치는 영향을 조사한 결과이다. 원통연삭의 경우에 공작물의 직경과 길이에 따라서 진원도에 차이가 발생하는 점을 감안하여 본 연구에서는 슷돌주속에 따른 진원도의 차이를 조사하기 전에 진원도 보정실험을 수행하였다. 보정실험은 공작물을 동일한 조건으로 연삭한 후에 진원도를 측정하여 가공물의 위치에 따른 진원도의 차이를 조사한 후에 기준위치를 선정하고 기준위치의 진원도에 대한 상대값으로 공작물의 가공위치에 따른 진원도를 보정하는 방법을 사용하였다. 보정결과를 보면 주속 80m/sec에서는 공작물주속에 따라 6μm 에서 10μm로 다소 큰 차이를 보이지만 주속 200m/sec에서는 5μm 내외의 거의 동일한

값을 나타내고있다. 진원도는 진동 등 여러 가공 조건이나 환경에 영향을 받으므로 정량적 판단은 어렵지만 주속이 증가함에 따라 전반적으로 진원도가 좋아지는 경향을 확인할 수 있다. 이러한 결과는 주속의 증가를 통해 공작물의 표면정도뿐만 아니라 형상정도를 향상시킬 수 있음을 말하여 준다.

4. 결론

본 연구의 결론을 정리하면 다음과 같다.

1. 슷돌주속이 80m/sec에서 200m/sec로 증가되면 2.5배 이상 소비동력이 감소하게 되어 동일한 소비동력으로 주속의 증가가 가능하다.
2. 슷돌주속을 80m/sec에서 200m/sec로 높이면 동일한 소비동력 하에서 3배 이상의 연삭능률 향상을 기대할 수 있다.
3. 절입속도 증가를 통해 가공능률을 높일 경우 악화되는 공작물의 표면정도 및 진원도를 슷돌주속의 증가를 통해 향상시킬 수 있다.

후기

본 연구는 한국과학재단 지정 울산대학교 지역협력연구센터(RRC)의 지원으로 수행되었습니다.

참고문헌

1. H.Opitz and K.güthing., "Grinding & Finishing," Annals of CIRP, Vol.16, pp61, 1968.
2. 庄司克雄., "超高速研削加工の現状と課題," 出藍, 研究報告 第13號, pp100, 2000.
3. 松井正己, 庄司克雄., "研削砥石の減毛狀態の平價法," 精密機械學會誌, 35-4, 1969
4. Milton C. Shaw., "Principle of abrasive processing," Oxford science publications, pp91-93, 1996