

MC를 이용한 측면 연삭에 관한 연구

A Study on the Side-Cut Grinding using the Machining Center

김창수^{*}, 서영일^{*}, 최 환^{**}, 정선훈^{***}, 이종찬^{***}

^{*} 금오공과대학교 대학원, ^{**} 금오공과대학교 기계설계공학과, ^{***} 금오공과대학교 생산기계공학과

ABSTRACT

A problem in the grinding process using the machining center(MC) with a small diametric wheel is the machining error due to decrease of quill diameter. In this paper, a side-cut grinding is performed with a vitrified bonded CBN wheel by the MC, and the relation between grinding force and machining error for grinding conditions is investigated experimentally. It is shown that the normal force has a significant effect on the machining error.

Key Words : MC (머시닝센터), Side-cut grinding(측면연삭), Vitrified CBN wheel(비트리파이드 CBN 연삭숫돌), Grinding force(연삭저항력), Machining error(가공오차)

1. 서 론

최근 머시닝센터(Machining Center)의 정도 및 기능이 향상되어 MC를 이용한 연삭가공이 가능하게 되었다.^{1) 2)} 더욱이 다양한 NC기능을 이용하면 종래에는 가공이 곤란한 복잡한 형상의 연삭가공 뿐만 아니라 3차원 형상의 연삭가공이 가능하다. 하지만 아직까지 실제 MC상에서 연삭가공을 하는 데는 규명하여야 하거나 해결하여야 할 부분이 많이 있다. 그 중 하나로 MC연삭에서는 소경숫돌을 사용하는 경우가 대부분이므로 숫돌이 부착된 숫돌대(이하 킬축)의 축경 감소로 인하여 공구계의 강성이 저하되고, 가공시 킬축의 변형에 의한 가공오차로 인하여 요구되는 치수의 정밀도가 떨어지게 된다.

본 연구에서는 MC를 이용한 연삭가공의 기초를 확립하기 위하여 측면연삭가공을 그 대상으로 하였으며, 비트리파이드 CBN 소경숫돌을 사용하여 금형 재료로 널리 사용되고 있는 합금공구강(SKD-11, Rc 60)을 MC상에서 측면연삭가공을 행하였다. 가공조건이 연삭저항력 및 가공오차에 미치는 영향을 규명하기 위하여 가공조건에 따른 연삭저항력 및 가공오차를 실험을 통하여 살펴보고, 숫돌의 설정절

입깊이와 실제절입깊이를 비교, 검토하여 가공성능에 대하여 알아보았다. 또한 법선연삭저항력과 가공오차와의 관계를 실험식을 통해 나타내었다.

2. 실험 장치 및 방법

2.1 숫돌 및 공작물

본 실험에 사용한 숫돌의 입자는 CBN 입자이며, 비트리파이드(V) 본드를 사용하였고, 입도 #230, 집중도 100, 결합도 G이다. 킬축은 직경 $\phi 20$, 길이 20 mm으로 정밀 가공하였으며, 킬축에 직경 $\phi 35$, 폭 25 mm의 CBN 숫돌을 부착하였다.

공작물은 금형 재료로 널리 사용되고 있는 SKD-11을 길이 47.5 mm, 폭 14 mm, 높이 76 mm로 제작하고, 경도 Rc 60으로 열처리하여 사용하였다.

2.2 실험방법

Fig. 1에 본 실험의 실험장치의 개요를 나타내었다.

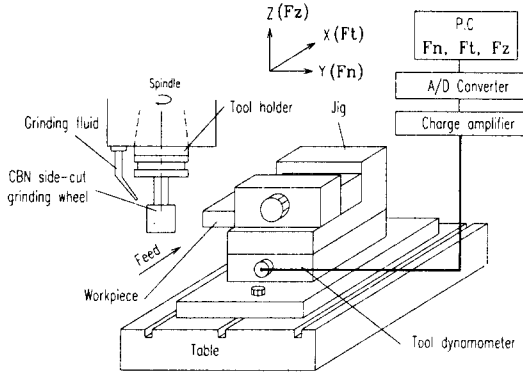


Fig. 1 Experimental setting

본 실험에 사용된 공작기계는 수직형 머시닝센터(화천기계, ECOMIL 35V, 75kW)를 사용하였으며, 연삭저항력의 측정을 위해 압전형 공구동력계(Kistler, 9257B)를 머시닝센터 테이블 위에 설치하고, 그 위에 공작물을 고정된 후 Table 1에 나타난 실험조건에 따라 습식 상향 측면연삭을 행하였다.

실험을 하기 전에 슛돌의 진원을 형성하기 위하여 단석 다이아몬드 드레싱(1/2")를 사용하여 트루잉을 행하였고, Table 1의 조건으로 매 실험마다 드레싱을 행하였다.

Table 1에 본 실험의 실험조건에 관하여 나타내었다.

Table 1 Experimental conditions

Grinding machine	Vertical type Machining Center (ECOMIL, 75kW)
Wheel speeds (m/min, rpm)	110(1000rpm)~330(3000rpm)
Table speeds (mm/min)	20, 40, 60, 80
Depth of cut (μm)	5, 10, 20, 30
Dressing condition	wheel speed : 143 m/min feed speed : 200 mm/min depth of cut : $5\mu\text{m} \times 2\text{pass}$ dresser : One-point diamond
Grinding fluid	Syntilo-9954(Castrol, 40:1)

2.3 연삭저항력 측정

연삭실험시 Fig. 1에 나타난 것과 같이 슛돌의 이송방향의 연삭저항력(F_t)과 법선방향의 연삭저항력(F_n)을 측정하기 위하여 머시닝센터 테이블에 압전형 공구동력계(Kistler, 9257B)를 설치하고, 그 위에 지그를 부착하여 공작물을 고정하였다. 공구동력계에서 발생된 신호는 다채널 증폭기(Kistler, 5019A)에서 증폭된 후 아날로그-디지털변환기(10tech, DaqBook)를 거쳐 디지털화 되어 개인용 컴퓨터(PC)로 전송되며, Grinding force software를 이용하여 데이터를 분석하였다.

2.4 가공오차의 측정

머시닝센터를 이용한 측면 연삭가공에 있어서 공구의 변형 및 슛돌의 탄성변형 등에 의하여 슛돌의 설정절입깊이(Setting depth of cut)와 실제절입깊이(Actual depth of cut)의 값은 차이를 나타내며, 이 차이가 가공정도에 영향을 미치는 가공오차로 생각된다.

본 실험에서는 가공오차를 정밀하게 측정하기 위하여 먼저 공작물 측면에 대해 미세 절입($2\mu\text{m}$) 후, 수 번의 spark-out을 실시하여 공작물 기준면의 정도를 높였다. 그리고 설정절입깊이를 정확하게 설정하기 위하여 슛돌을 공작물의 기준면에 접촉시켜, 접촉시 공구동력계로부터 얻어지는 신호를 이용하여 설정절입깊이의 기준점을 잡았으며, 그 기준점으로부터 가공조건의 설정절입깊이로 절입하고, 공작물 길이방향으로 1/2 지점까지만 연삭가공을 하여, 공작물의 기준면과 실제 가공된 면의 단 차이(실제절입깊이)를 접촉식 표면조도계(Mitutoyo, TV-600)를 사용하여 측정하였다.

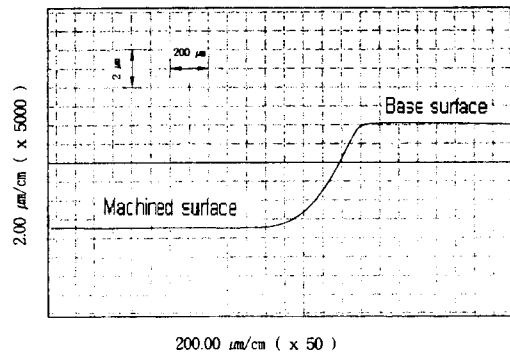


Fig. 2 Measurement of actual depth of cut

Fig. 2는 표면조도계로부터 측정된 실제절입깊이 측정의 일 예를 나타내며, 본 실험에 사용된 실제절입깊이의 값은 공작물의 중앙부를 측정된 값을 사용하였다.

또한 본 연구에서는 측면 연삭가공에 있어서 가공 성능을 알아보기 위하여 스톨의 설정절입깊이(a_s)와 실제절입깊이(a_a)와의 비(이하 가공비<Machining ratio, M>라고 칭함)를 사용하여 검토하였다. 즉 가공비(M)가 1에 가까울수록 가공오차가 적고 가공 성능이 우수하다는 것을 나타낸다.

3. 실험결과 및 검토

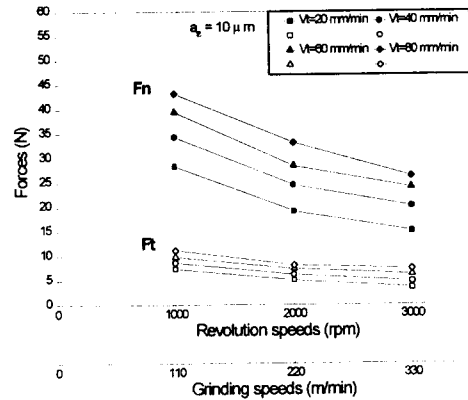
가공조건 변화에 따른 연삭저항력과 실제절입깊이(a_a)의 변화를 살펴보기 위하여 설정절입깊이 $a_s=10 \mu\text{m}$ 인 경우 Table 1의 실험조건으로 실험한 결과를 Fig. 3에 나타내었다.

Fig. 3의 (a)는 측면연삭시 이송속도(V_t)의 변화에 따른 연삭저항력(F_n , F_t)과 스톨주속도(V_s)와의 관계를, (b)는 실제절입깊이(a_a)와 스톨주속도(V_s)와의 관계를 나타낸다.

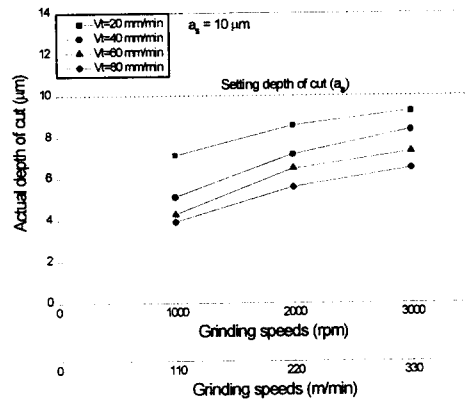
Fig. 3의(a)에서와 같이 연삭저항력은 스톨의 주속도가 증가할수록 점차 감소하였으며, 이송속도가 증가할수록 증가하였다. 이와 같은 경향은 스톨주속도가 증가함에 따라 하나의 입자당 절입깊이가 감소하여 공작물 제거량이 감소하게 되므로 연삭력이 감소하게 되며, 또한 이송속도가 증가할수록 하나의 입자당 절입깊이가 증가하므로 연삭력이 증가하게 된다.³⁾ 그리고 Fig. 3의 (b)에서 실제절입깊이(a_a)는 스톨주속도(V_s)가 증가함에 따라 증가하고, 이송속도(V_t)가 증가할수록 감소하는 경향을 나타낸다.

Fig. 4는 스톨주속도(V_s)에 따른 이송속도(V_t)와 가공비(M)와의 관계를 나타내었다. 그림에서 보는 바와 같이 가공비는 스톨주속도가 증가할수록 증가하고, 이송속도가 증가할수록 감소하는 경향을 나타낸다.

이와 같은 경향은 스톨주속도가 증가하면 연삭저항력이 감소하게 되므로 실제절입깊이(a_a)가 증가하여 가공비가 증가하게 된다. 또한 이송속도가 증가하면 연삭저항력이 증가하여 실제절입깊이(a_a)가 감소하게 되므로 가공비가 감소하게 된다. 따라서 가공조건 변화에 따른 연삭저항력의 변화가 공구계의 변형에 영향을 미치며, 가공오차 및 가공성능에 중요한 요인으로 작용한다는 것을 알 수 있다.



(a) Grinding force versus wheel speed



(b) Actual depth of cut versus wheel speed

Fig. 3 Grinding force & actual depth of cut versus grinding speed for feed speed

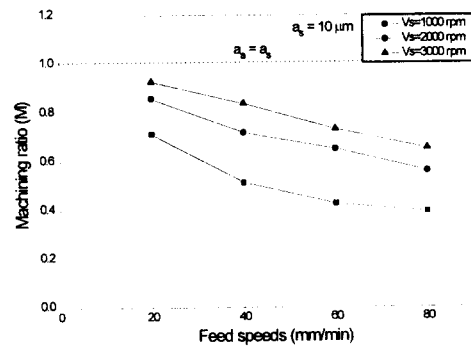


Fig. 4 Machining ratio versus feed speed for wheel speed

숫돌의 설정절입깊이 변화에 따른 연삭저항력과 가공오차의 관계를 알아보기 위하여 숫돌주속도 $V_s=3000$ rpm(330 m/min)로 일정하게 하고 실험한 결과를 Fig. 5, 6, 7, 8에 나타내었다.

Fig. 5는 이송속도(V_t)에 따른 설정절입깊이(a_s)와 연삭저항력과의 관계를, Fig. 6의 (a)는 이송속도(V_t)에 따른 설정절입깊이(a_s)와 실제절입깊이(a_a)와의 관계를, (b)는 설정절입깊이(a_s)와 가공오차(δ)와의 관계를 나타내었다.

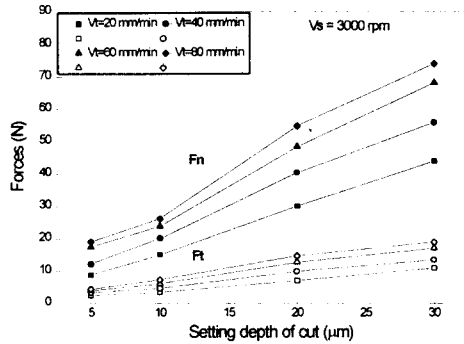
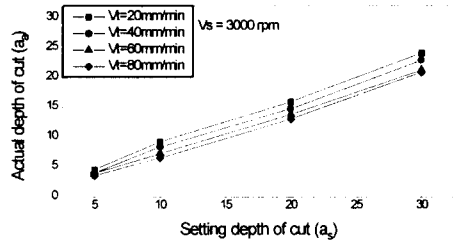
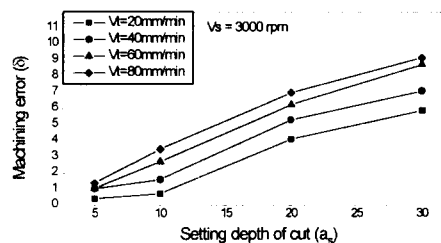


Fig. 5 Grinding force versus setting depth of cut for feed speed



(a) Actual depth of cut versus setting depth of cut



(b) Machining error versus setting depth of cut

Fig. 6 Actual depth of cut, machining error versus setting depth of cut for feed speed

Fig. 5에서와 같이 연삭저항력은 설정절입깊이(a_s)가 증가할수록, 이송속도가 증가할수록 증가하였다. 그리고 실제절입깊이(a_a)는 Fig. 6의 (a)에서와 같이 설정절입깊이(a_s)가 증가할수록 선형적으로 증가하였으며, 가공오차(δ)에 관해서는 Fig. 6의 (b)에서와 같이 설정절입깊이(a_s)가 증가할수록 증가하는 경향을 나타내었다.

Fig. 7은 설정절입깊이(a_s)에 따른 법선연삭저항력(F_n)과 실제절입깊이(a_a)와의 관계를 나타내었다. 그림에서 설정절입깊이가 일정할 때 법선연삭저항력이 증가할수록 실제절입깊이가 감소하며, 설정절입깊이가 증가할수록 가공오차가 증가함을 알 수 있다. 따라서 설정절입깊이가 증가하여 연삭저항력이 증가하면, 공구계의 변형이 증가하게되어 가공오차가 증가하게 된다. 그러므로 설정절입깊이변화에 따른 연삭저항력의 변화가 가공정도에 영향을 미친다는 것을 알 수 있다.

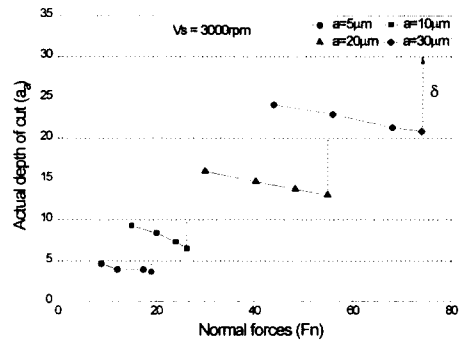


Fig. 7 Actual depth of cut versus normal force for setting depth of cut

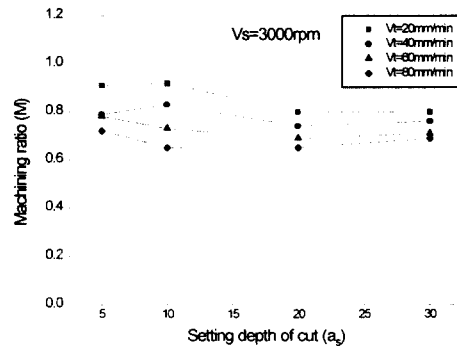


Fig. 8 Machining ratio versus setting depth of cut for feed speed

Fig. 8은 이송속도(V_t)에 따른 설정절입깊이(a_s)와 가공비(M)와의 관계를 나타내었다. 그림에서 가공비는 설정절입깊이의 증가에 따라 거의 일정한 값을 나타낸다. 이러한 이유는 Fig. 6의 (a)에서 살펴본 바와 같이 실제절입깊이(a_a)가 설정절입깊이(a_s)의 증가에 대해 선형적으로 증가하였기 때문에 거의 일정한 가공비를 나타낸 것으로 판단된다.

이상의 결과에서 보는바와 같이 측면연삭가공에 있어서 가공오차는 공작물에 수직인 방향으로 작용하는 법선연삭저항력(F_n)에 영향을 많이 받으므로⁴⁾ 법선저항력에 대한 가공오차량을 살펴 볼 필요가 있다. Fig. 9는 가공오차(δ)에 대한 공작물 단위폭당 법선연삭저항력($f_n = F_n/B$, B : 공작물 폭)의 변화를 살펴보았다. Fig. 9에서와 같이 가공오차는 단위폭당 법선연삭저항력이 증가할수록 선형적으로 증가함을 알 수 있다.

본 연구의 범위에서 단위폭당 법선연삭저항력과 가공오차와의 실험식은 다음과 같이 나타냈다.

$$f_n = 0.49 \delta + 0.47$$

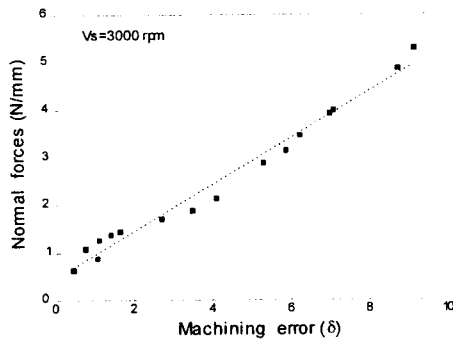


Fig. 9 Normal force versus machining error

4. 결론

본 연구에서는 MC를 이용한 연삭가공의 기초를 확립하기 위하여 비트리파이드 CBN 소경숫돌을 사용하여 고경도 합금공구강(SKD-11, Rc 60)을 MC를 이용하여 측면연삭가공을 행하였다. 가공조건의 변화에 따른 연삭저항력 및 가공오차의 관계를 실험으로 비교, 검토한 결과 아래와 같은 결론을 얻었다.

- (1) 숫돌주속도가 증가할수록 연삭저항력이 감소하였고, 가공비(加工比)는 증가하는 경향을 나타내었다.
- (2) 이송속도가 증가할수록 연삭저항력이 증가하

였으며, 가공비(加工比)가 감소하는 경향을 나타내었다.

- (3) 설정절입깊이가 증가할수록 연삭저항력이 증가하여 가공오차가 증가하였고, 설정절입깊이(a_s)의 변화에 따른 가공비(加工比)는 거의 일정한 값을 나타내었다.
- (4) 단위폭당 법선연삭저항력(f_n)과 가공오차(δ)의 실험식은 $f_n = 0.49 \delta + 0.47$ 로 표시되었다.

5. 참고문헌

- 1) 垣野義昭, 喜田義宏, 中川平三郎, “マシンタによる研削加工に関する研究調査”, GC研究会報告書, 1990
- 2) 垣野義昭, 喜田義宏, 中川平三郎, “グラインディングセンタ”, 日刊工業新聞社, 1993, p. 118
- 3) 서영일, 최 환, 이종찬, “다이아몬드 블레이드를 사용한 절단가공의 절단저항력 해석”, 한국정밀공학회지, vol. 13, no. 1, 1996, p. 84
- 4) 喜田義宏, 川口 格, 崔 桓, 坪田守人, 垣野義昭, 中川平三郎, “T/Dを用いたMC研削に関する基礎的研究”, 精密工學會誌, vol. 58, no. 5(1992), p. 835