

경화 열처리강의 정밀연삭가공

최원식*[†] · 배대원**

*밀양대학교 기계공학과

**경북대학교 대학원 기계공학과

Precision Grinding Characteristics of Hardened Steel

Choi Won Sik*[†], Bae Dae Won**

*Dept. of Mechanical Engineering, Miryang National University, Gyeongnam 627-706, Korea

**Dept. of Mechanical Engineering, Graduate School, Kyungpook National University, Deagu 702-701, Korea

Abstract In this study, the effects of the maximum undeformed chip thickness on grinding characteristics of hardened steel in down-grinding have been investigated. The measured grinding forces become larger as the workpiece velocity increases. The specific energy, e decreases as the maximum undeformed chip thickness increases. When the maximum undeformed chip thickness is the same, the specific energy, e decreases as the grain size increases.

(Received October 20, 2005; accepted November 17, 2005)

Key words: Ultra precision machining, Grinding power, Grinding specific energy, Hardened steel

1. 서 론

최근 경제발전에 따른 기계가공의 고정밀화 추세와 가공재료의 다양성 증대로 인하여 공구재료로서 초연마재인 다이아몬드와 CBN(Cubic Boron Nitride)의 사용이 급속도로 보편화되어 지고 있는 추세이며 이에 따른 정밀가공(precision machining)에 대한 연구도 활발하게 이루어지고 있다[1].

그러나 다이아몬드는 철계재료 가공시 흑연화 현상에 따른 입자마모가 심하기 때문에 철계재료의 연삭에는 사용이 제한되고 있다. CBN은 철계재료 연삭시 화학적 안정성이 우수하고 열전도율이 높아 연삭열에 의해 쉽게 마모되지 않고, 연삭날이 잘 유지되므로 연삭가공이 매우 효율적으로 이루어진 다[2].

본 연구에서는 CBN 슛들에 의한 경화강의 효율적인 연삭가공방안의 정립을 위하여, 연삭입력조건 및 입자 크기에 따른 연속절삭날간격(a)과 최대 미 변형칩두께(h_{max})를 결정하고 이들 값에 따른 연삭 저항 및 비연삭에너지(e) 특성에 대해 분석·고찰 하였다.

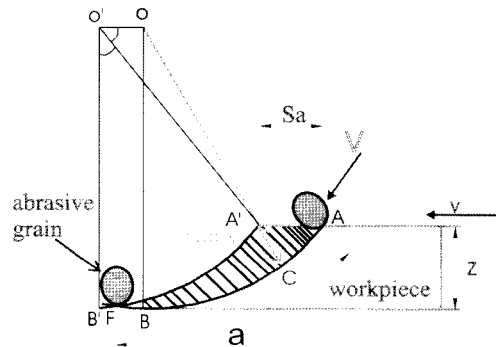


Fig. 1. Cutting path in down-surface-grinding process.

2. 기초이론

2.1 최대미변형칩두께(h_{max})

Fig. 1은 균일 형상·분포 연삭스튬에 의한 평면 하향연삭공정에서 공작물이 이송하는 것을 대신하여 연삭스튬이 연삭작용을 하는 입자당 Sa 만큼 이송하면서 회전할 때 연삭입자의 절삭경로를 나타낸 것이다. 그림에서 연삭입자의 최대물림깊이인 최대미변형 칩두께(maximum undeformed chip thickness), h_{max} 는 로 표시되며 근사적으로 식 (1)과 같이 나타

[†]E-mail : wschoi@mnu.ac.kr

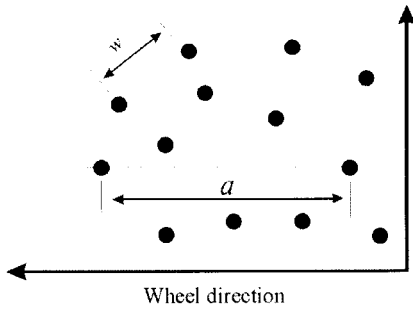


Fig. 2. Average cutting point spacing(w) and successive cutting point spacing(a) of abrasive grains.

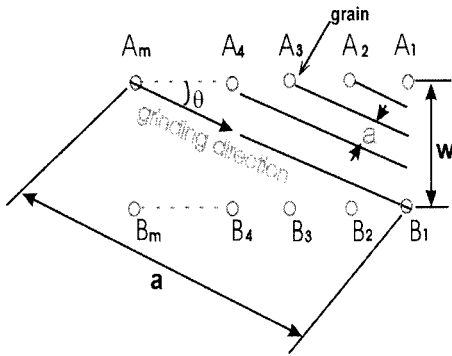


Fig. 3. Relation between average cutting point spacing, w and successive cutting point spacing, a .

낼 수 있다[2].

$$h_{\max} = 2\alpha \frac{v}{V} \left(\frac{Z}{D}\right)^{\frac{1}{2}} \quad (1)$$

여기서, a 는 연삭숫돌의 연속절삭날간격(successive cutting point spacing)이며, v 는 공작물속도, V 는 연삭숫돌의 원주속도, Z 는 연삭깊이, 그리고 D 는 연삭숫돌의 직경을 나타낸다.

2.2 연속절삭날간격(α)의 결정

식 (1)에서 나타낸 바와 같이 연삭입자의 최대미변형칩두께(h_{\max})는 여러가지 연삭 파라미터에 의해 결정되며 이중 연속절삭날간격(α)는 실험적으로 결정되는 값이다[3].

연속절삭날 간격(α)는 숫돌표면상의 단순히 이웃하는 연삭입자의 평균간격(w)이 아니고 Fig. 2에서 보는 바와 같이 숫돌표면상에서 숫돌회전방향의 동일원

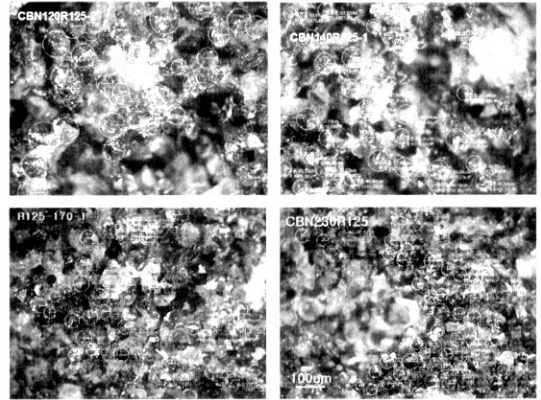


Fig. 4. Grains per unit area on the wheel($\times 300$).

주상에 정렬하고 있는 연삭입자 사이의 간격으로 다음과 같이 구할 수 있다.

Fig. 3은 평균입자간격(w), 연속절삭날 간격(α) 및 연삭입자에 의해 연삭된 평균간격(b)의 기하학적 관계를 나타낸 것이다. 그림에서 $\overline{A_m B_1}$ 은 연속절삭날 간격으로 연삭방향이다. 그림에서 동일 원주상에 있는 연삭입자 A_m, B_1 이 연삭할 때 인접하고 있는 원주상의 입자들도 연삭작용을 수행하며, $\overline{A_m B_1}(w)$ 의 사이를 m 개의 연삭입자가 연삭한다면 평균 연삭스크래치 간격 $b = \frac{(w/m)\cos\theta}{}$ 이므로 연속절삭날 간격 α 는 식 (2)과 같이 나타낼 수 있다.

$$\alpha = \frac{w^2}{b} \quad (2)$$

식 (2)에서 보는 바와 같이 연속절삭날 간격, α 는 w 와 b 를 측정함으로써 구할 수 있다[5].

Fig. 4는 숫돌표면을 공구현미경으로 관찰하여 연삭입자들의 분포상태를 나타낸 사진이다. 사진에서 동글게 표시된 부분은 실제 절삭에 동원된 연삭입자를 나타내고 있다. 절삭날의 평균간격 w 는 단위면적 내에 존재하는 연삭입자들의 수(N)를 측정함으로써 식 (3)에 의해 구해진다.

$$w = \frac{1}{N} \quad (3)$$

Fig. 5는 연삭입자들에 의해 생성된 연삭 스크래치(grinding scratch)를 나타낸 것이다. 사진으로부터 연삭입자에 의해 연삭된 평균연삭 스크래치 간격(b)을 구할 수 있다.

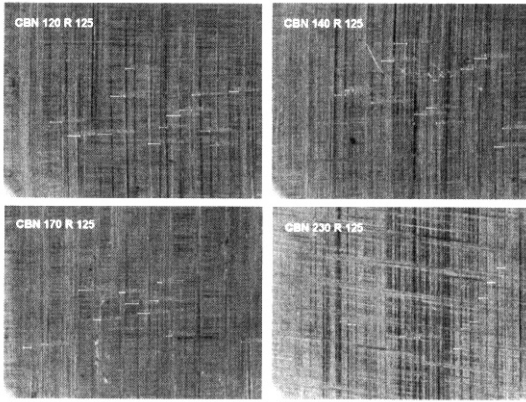


Fig. 5. Average scratch spacing, b generated by grains (×300).

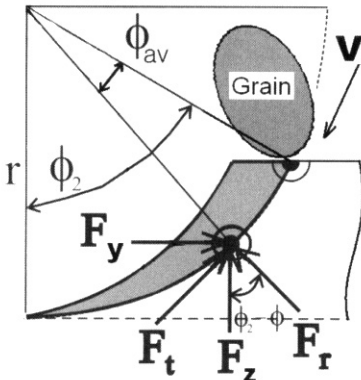


Fig. 6. Coordinate system for grinding force components in down surface-grinding process.

2.3 연삭력

Fig. 6은 평면하향연삭시 연삭력성분을 나타낸 것으로 F_z 및 F_y 는 수직 및 수평분력이며, 공구동력계에서 측정할 수 있다. F_r 및 F_t 는 임의의 순간에서의 반경방향과 접선방향 연삭력성분을 나타내고 있으며 측정 가능한 연삭력성분 F_z 및 F_y 와 접선방향 연삭분력 F_t , 반경방향 연삭분력 F_r 사이에는 식(4)의 관계가 성립한다[4].

그러나 연삭입자의 분포가 불규칙하고 입자의 크기도 다르기 때문에 측정된 연삭력 신호로부터 순간적인 반경방향 연삭분력과 접선방향 연삭분력을 구하는 것은 거의 불가능하다. 따라서 본 연구에서는 측정된 연삭력의 평균값으로부터 평균반경방향 연삭분력과

Table 1. Experimental grinding conditions

Items	Type
Wheel speed(rpm)	1750
Radial depth of cut(μm)	10, 20, 30, 40
Workpiece velocity(m/min)	5, 10, 15, 20
Grinding wheel	CBN120R125 CBN170R125 CBN230R125
Workpiece	Heat treatment
Grinding Fluid	None
Depth of dressing(μm)	2

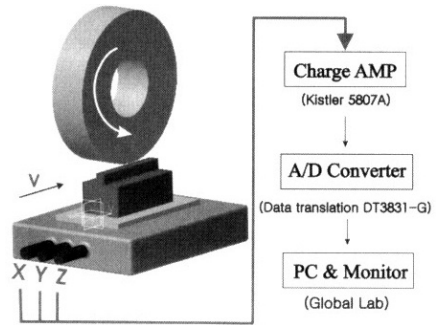


Fig. 7. Schematic diagram for surface grinding force measurement.

접선방향의 연삭분력을 구하여 연삭성을 평가하였다.

$$\begin{bmatrix} F_z \\ F_y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos(\phi_2 - \phi_{av}) & \sin(\phi_2 - \phi_{av}) \\ -\sin(\phi_2 - \phi_{av}) & \cos(\phi_2 - \phi_{av}) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} F_r \\ F_t \end{bmatrix} \quad (4)$$

2.3 비연삭에너지

통상적으로 비연삭에너지는 연삭특성평가를 위해 가장 일반적으로 채택되는 파라미터이며, 식(5)과 같이 정의된다.

$$e = \frac{F_y V}{bvZ} \quad (5)$$

여기서, e는 비연삭에너지(N/mm²), F_y 는 수평분력(N), V는 슷돌회전속도(m/min), b는 연삭폭(mm), v는 공작물속도(m/min), Z는 겹보기 연삭깊이(mm)이다. 식(5)에서 비연삭에너지, e는 연삭

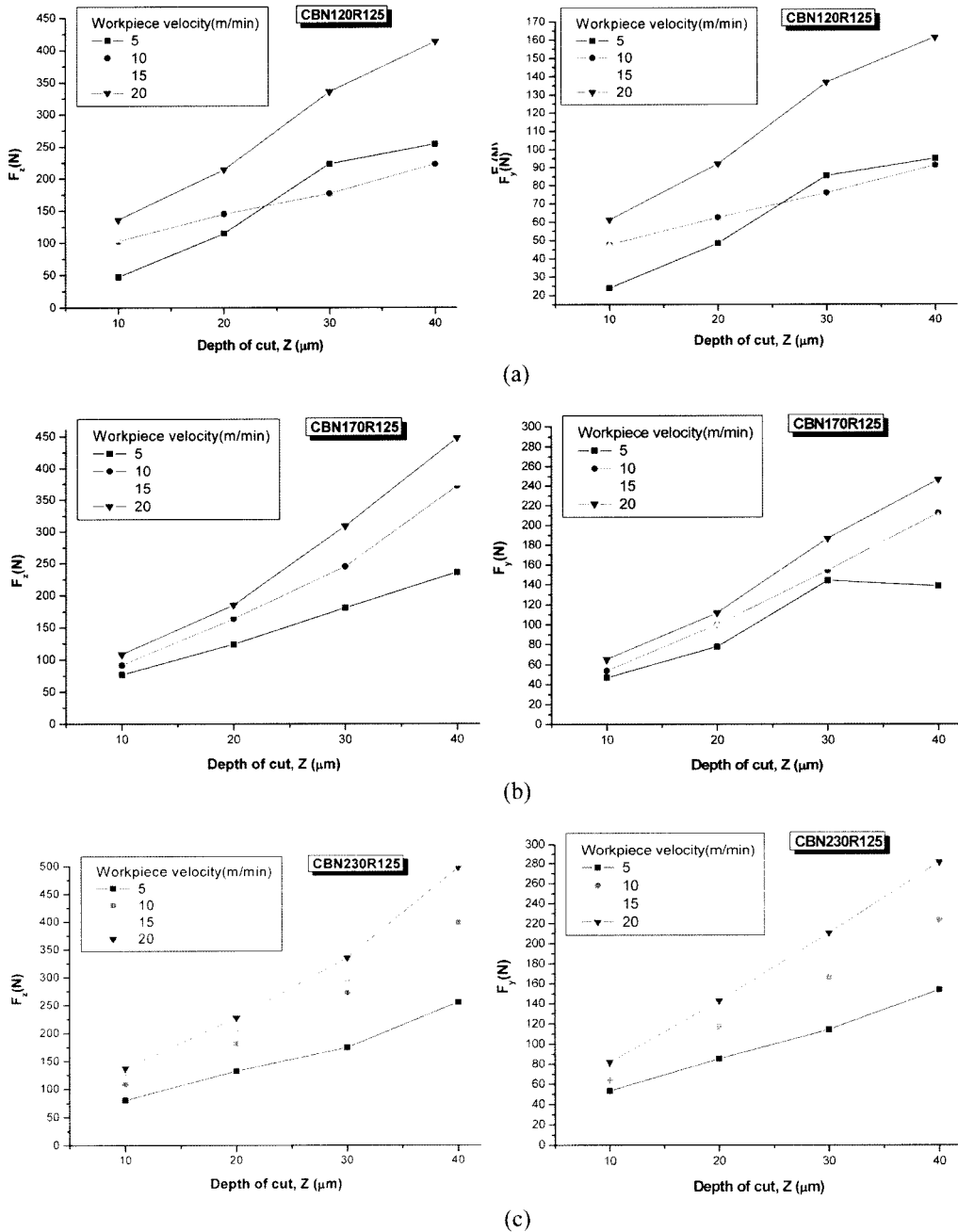


Fig. 8. The effects of workpiece velocity and depth of cut on vertical and horizontal force for depth of cut in surface down-grinding.

동력($F_y \cdot V$)을 단위시간당 제거되는 공작물의 체적($b \cdot v \cdot Z$)으로 나누어준 값으로서 공작물 단위체적당 소요되는 연삭에너지를 나타내는 거시적 파라미터이다.

3. 절삭실험

3.1 절삭 시편 및 절삭공구

연삭실험에 사용한 연삭숫돌은 CBN계 연삭숫돌로

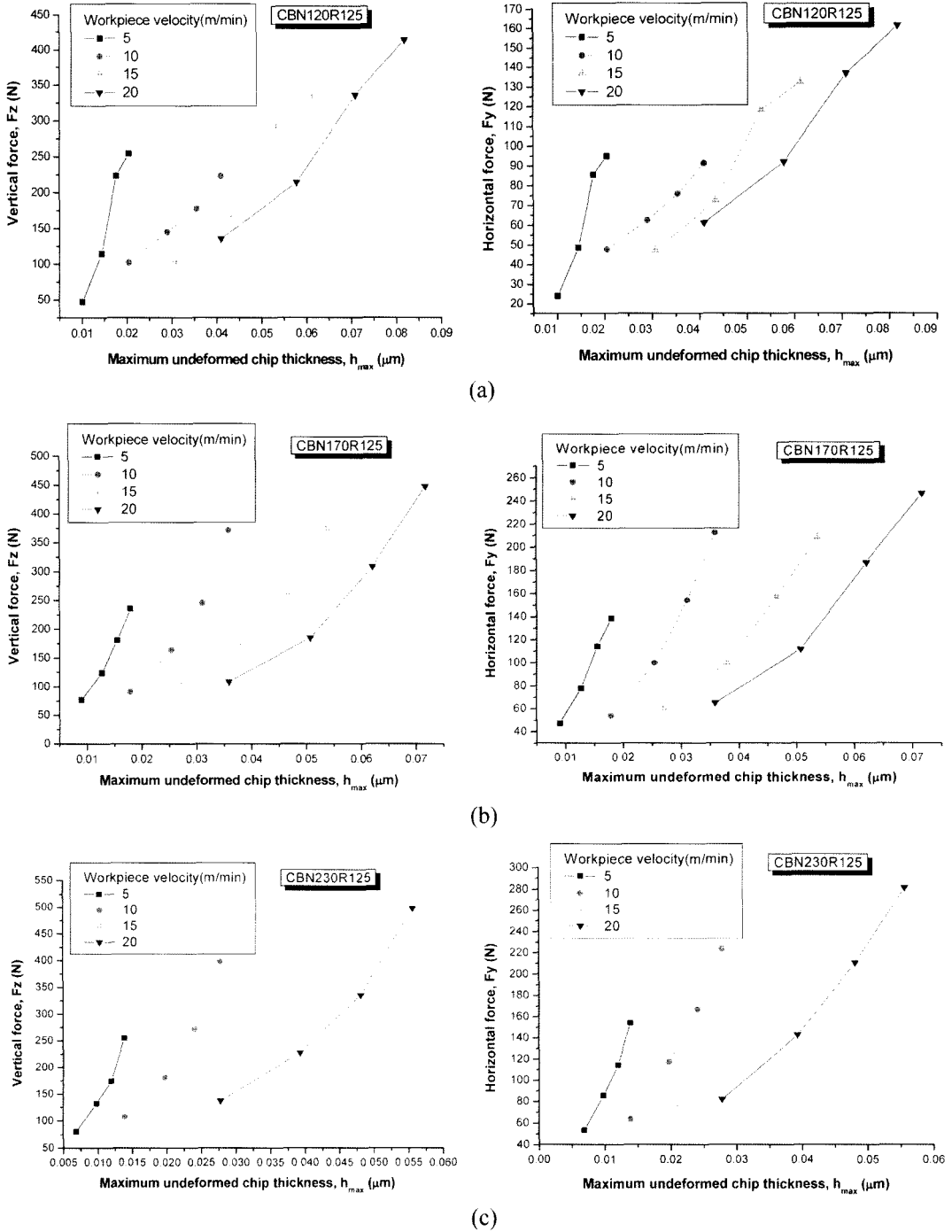


Fig. 9. The effects of workpiece velocity and depth of cut on vertical and horizontal force for maximum undeformed chip thickness in surface down-grinding.

서 결합도(K), 조직(125), 결합제(V), 입도는 120, 170, 230 세 가지를 사용하였고 연삭숫돌의 직경

305 mm, 폭 38 mm이었다. 연삭방식은 하향연삭방식으로 평면연삭기에서 가공하였으며, 매 실험마다

2 μm 로 드레싱을 하였다.

Table 1은 연삭실험조건을 나타낸 것으로 총 32회씩 3조의 연삭실험을 행하였다. 연삭실험에 사용된 공작물은 경화(quenching)열처리 한 SM45C강으로 경도는 로크웰 C스케일(HRC) 59이다.

Fig. 7은 연삭실험의 개략도를 나타낸 것으로 연삭력 성분을 구하기 위해서 공구 동력계(Kistler, 9273)로부터 측정된 연삭력 신호를 전하증폭기(Kistler, 5807A)를 통해 증폭시키고, A/D변환기(Data translation, DT3831-G)를 거쳐 PC에서 신호분석 기능을 갖고 있는 소프트웨어패키지(Global Lab)을 사용하여 분석하였다.

연삭실험시 공작기계의 주축회전속도는 1750 rpm이었으며, 연삭력 성분은 샘플링 주파수 125,000 Hz로 획득되었다. 따라서, 샘플링 시간간격은 0.008 ms이었다.

4 실험결과 및 고찰

4.1 측정연삭력

연삭력은 드레싱 조건과 연삭깊이, 공작물이송속도 등 연삭조건에 따라 달라지므로 다양한 연삭조건에 대해서 연삭력을 정량적으로 표현하기에는 어려움이 있다. 따라서, 본 연구에서는 연삭실험을 통해 얻어진 평균연삭력을 분석하였다. Fig. 8은 연삭시 측정된 연삭력의 열처리를 한 공작물의 연삭력의 수직성분(F_z) 및 수평성분(F_y)을 나타낸 것이다.

Fig. 8은 공작물속도와 연삭깊이에 따른 연삭력의 변화를 보인 것으로 일반적으로 연삭가공에서는 스톨의 회전수는 고정되어 있고 공작물의 회전수를 변화하여 가공 하는데, 공작물 속도는 연삭성능이나 공작물의 표면품질에도 중요한 영향을 미치는 인자가 된다. Fig. 8에서 보는바와 같이 공작물 속도가 클수록 연삭력도 증가함을 볼 수 있는데, 이는 속도가 커질수록 단위시간당의 칩생성량이 증가하기 때문이다.

Fig. 9는 공작물 속도와 미변형 칩두께에 따른 연삭력 변화를 나타낸 것으로 공작물속도와 연삭깊이에 따라 연삭력 크기가 증가하는 것을 볼 수 있으며, 이는 공작물속도와 연삭깊이가 증가함에 따라 연삭당 미변형칩두께가 커지기 때문이다.

또한 수직방향 연삭분력이 접선방향 연삭분력에 비

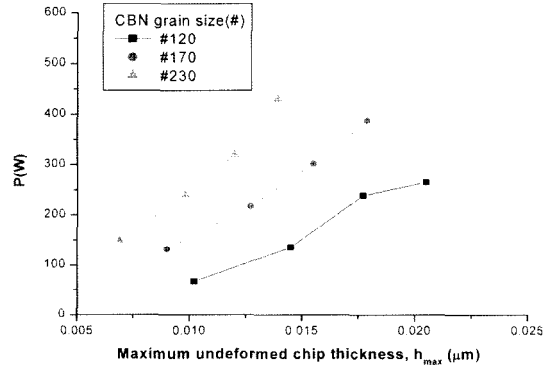


Fig. 10. Relationship between grinding power (P) and maximum undeformed chip thickness.

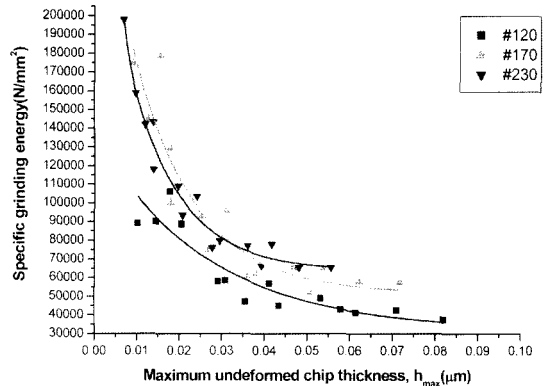


Fig. 11. Relationship between Specific grinding energy and maximum undeformed chip thickness.

하여 약 두배의 크기를 나타내고 있으며 일반 절삭가공에 비하면 연삭가공에서는 수직방향 연삭분력이 매우 큰 특징을 나타내고 있다[5]. 이는 연삭이 절삭작용 이외에 미끄럼과 경작작용에 의한 가공으로 이루어져 있기 때문이다.

4.2 연삭 동력

Fig. 10은 미변형칩두께에 따른 연삭동력의 변화를 나타낸 그림이다. 그림에서 보는 바와 같이 연삭동력은 연삭입자의 최대물림깊이가 커짐에 따라 수평방향 연삭분력에 비례하여 증가하는 경향을 보이고 있다. 또한 미변형칩두께가 일정할 때 연삭입자의 크기가 작을수록 연삭동력은 증가하는 경향을 나타내며 이는 연삭에서의 치수효과(size effect)에 기인한다고 생각된다[2, 5].

4.3 비연삭에너지

Fig. 11은 미변형 칩두께에 따른 비연삭에너지의 변화를 나타낸 것이다. 그림에서와 같이 연삭입자의 최대미변형칩두께가 증가할수록 비연삭에너지가 감소하고 있다. 이는 연삭가공에서의 치수효과[2, 5]를 나타내는 것으로 판단된다. 한편 최대미변형칩두께가 동일한 경우 연삭입자가 클수록 비연삭에너지가 작아지는 경향을 나타내고 있으며, 이는 입도가 다른 연삭입자에 의해 동일한 최대미변형칩두께가 연삭될 때 연삭입자가 클수록 경작작용에 의한 에너지 소모가 상대적으로 떨어지기 때문으로 판단된다.

5. 결 론

1. 연삭동력은 미변형칩두께의 증가 및 연삭입자의 감소에 따라 커지는 경향을 나타낸다.

2. 비연삭 에너지는 최대미변형칩두께(h_{max})가 커질수록 감소한다.

3. 경화열처리 된 소재의 경우 입도가 다른 입자에 의해 주어지는 최대미변형칩두께(h_{max})가 같을 때 연삭입자가 클수록 비연삭에너지 값이 작아진다.

참고문헌

1. M.P. Hitchiner, and S.B. McSpadden, Annals of the CIRP, Vol. 54 (2005) pp. 277-280.
2. S. Malkin, "Grinding Technology-Theory and application of Machining with abrasives", John Wiley & Sons, (1989).
3. 김효정, 허인호, 우성대, 이영문, 한국공작기계학회논문집 제8권(제5호) (1999) pp. 63-69.
4. 이영문, 장승일, 서민교, 손정우, 한국공작기계학회논문집 제13권(제2호) (2004) pp. 17-24.
5. 손명환, 절삭가공론, 문운당, (1992) Chapter 14-19.