

평면연삭에서 슷돌의 종류와 연삭조건에 따른 표면거칠기 및 연삭스�돌의 파괴

오동석*, 이병곤**, 이종훈***

Fracture of Grinding Wheels and Surface Roughness in Surface Grinding for the various Grinding Wheels and Grinding Conditions

Oh-Dong Seuk*, Lee-Byung Gon**, Lee-Jong Hoon***

Abstract

In this study, the variation of surface roughness was tested in surface grinding for the three working materials SM45C, heat-treated SM45C, and gray cast iron. It was performed for the various grinding wheels with two grain size #60, #100, and three grade I, O, R and various grinding depths and feeds. The fractural grinding depths which were obtained when the grinding wheels were destructed in surface grinding works, were examined and compared with the calculated value suggested in this study. The results showed that the surface roughness was decreased by decreasing grinding depth, and feed, and increasing grain size and grades. The fracture grinding depths were increased by increasing grain size, grade and feed.

Key Words : Surface Grinding(평면연삭), Gray Cast Iron(회주철), grinding wheels(연삭스�돌), surface roughness(표면거칠기)

1. 서론

연삭가공은 치수정밀도가 요구되는 제품의 최종 가공공정으로, 특히 기계부품의 다듬질면은 기계요소와 내마멸성, 피로강도 및 내식성 등 품질에 큰 영향을 미친다.^(1,2) 이러한 연삭 작업중 가장 큰 위험 요소는 고속작업중의 연삭스�돌 파손이며, 1998년 한국산업안전공단에 따르면 연삭관련 재해자는 120명에 달한다.⁽³⁾ 연삭스�돌의 파괴 원인은 고속회전중 최고사용원주속도를 넘어 원심력이

결합력보다 커질 때, 슷돌에 균열이 있을 때, 슷돌에 진동과 충격등 비정상 하중이 가해질 때, 슷돌의 불균형이나 베어링 마모에 의한 진동 등이다.⁽⁴⁾ 연삭스�돌이 파괴되면 슷돌 파편이 머리, 안면등 인체를 강타하여 사망이나 분쇄 골절등 중대재해가 발생된다.

본 연구에서는 평면연삭에서 기계구조용탄소강, 회주철의 시험편에 대하여, 입자 WA, 입도, 60, 100, 결합도 I, O, R의 연삭스�돌을 사용하여 이송과 연삭깊이 등 연삭조건변화에 대한 표면거칠기의 변화를 실험하고 이론값

* 충북대학교 대학원 안전공학파(o5005@netian.com)
** 충북대학교 안전공학파
*** 청주기능대학 생산기계학과

과 비교하였다. 또한 평면연삭기에서 연삭깊이를 증가시켜 슷들이 파괴될 때의 연삭깊이를 실험하고, 기존의 연삭저항식을 이용하여 파괴시 연삭깊이를 나타내는 식을 제시하였다.

2. 이론해석

2.1 평면연삭에서의 표면거칠기

織岡⁽⁶⁾는 연삭스틀 작업면에 있는 슷들입자 절삭날끝 높이의 불균일성이 표면거칠기에 미치는 영향을 확률론으로 해석하고, 표면거칠기 Rrms식을 도출하였다.

$$R_{rms} = 0.328 \left(\frac{1}{D} + \frac{1}{d} \right)^{1/9} \left(\frac{v}{V} \right)^{2/9} \left(\frac{1}{j_c} \right)^{2/9} \left(\frac{1}{\gamma} \right)^{2/9} H_0^{2/3} \quad (1)$$

小野⁽⁷⁾는 절삭날이 대략 3차원적으로 분포될 경우, 최대 골바닥깊이 H_v를 구한 식을 도출하여, H_v와 평균거칠기와의 관계를 구했다.

$$H_v = (15/16)^{2/5} \kappa^{6/5} (\cot \phi)^{2/5} G^{2/5} \quad (2)$$

2.2 원심력에 의한 슷들의 파괴

고속으로 회전하는 연삭스틀에 작용하는 원심력이 슷들의 결합력보다 커지면 슷들이 파괴되며, 그 때의 원심 파괴회전수 n_{fl}은 다음과 같다.

$$n_{fl} = \frac{60}{2\pi} \sqrt{\frac{3(r_2 - r_0)}{\rho\pi(r_2^3 - r_0^3)} \frac{\sigma_{ave}}{k_t}} \quad (3)$$

2.3 평면연삭에서 연삭깊이 증가에 의한 슷들파괴

佐藤建兒⁽⁸⁾는 절삭깊이에 의한 이론으로 다음의 연삭저항(F_t)식을 제시하였다.

$$F_t = \frac{\pi}{4} k_s \frac{Rf}{W^2} \frac{\delta^2}{\beta + \delta} \left(2Z - \frac{R(r+R)}{r} \frac{\delta^2}{3} \right)^2 \sin \gamma \quad (4)$$

또한 竹中⁽⁹⁾은 연삭저항(F_t)에 대하여 실험식을 제시하였다.

$$F_t = KZ^\alpha V^{-\beta} v^\gamma \quad (5)$$

본 연구에서는 연삭저항이 슷들의 파괴인장력 F_t=σA와 같아지면 슷들이 연삭가공중에 파괴되는 것으로 간주하고 파괴시 연삭깊이를 나타내는 식을 제시하였다.

Theory 1 값 : 佐藤建兒의 연삭저항 이론식을 이용한 슷들파괴시 연삭깊이(Z)는 다음과 같다.

$$Z = \left[\left(\frac{\sigma A}{\frac{\pi}{4} k_s \frac{Rf}{W^2} \delta^2 \sin \gamma} \right)^{\frac{1}{2}} + \frac{R(r+R)}{r} \frac{\delta^2}{3} \right]^2 \quad (6)$$

Theory 2 값 : 竹中の 연삭저항 실험식을 이용한 슷들파괴시 연삭깊이(Z)는 다음과 같다.

$$Z = \left(\frac{\sigma A}{KV^{-\beta} v^\gamma} \right)^{\frac{1}{\alpha}} \quad (7)$$

3. 실험

3.1 시험편

표면거칠기용 시험편은 Fig. 1과 같이 가로80mm×세로120mm×두께 20mm로 제작하였다.

재질은 기계구조용 탄소강 SM45C와 경화열처리한 SM45C, 회주철 GC15이다. 연삭스틀은 입도 및 결합도

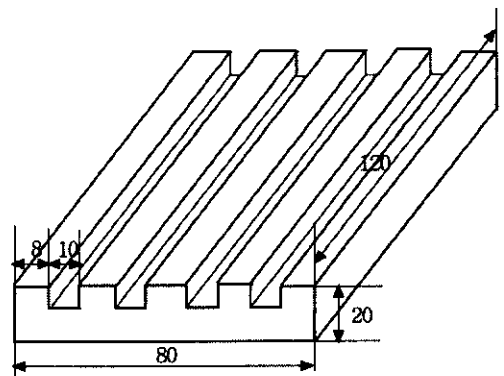


Fig. 1 Dimension of test piece

Table 1 Specification of grinding wheels

Abrasive grain	Grain size	Grade			Structure	Bond	Out dia. × thickness × inside dia. (mm)
		I	O	R			
WA	60	I	O	R	8	V	180×16×32
	100	I	O	R			

가 각각 다른 16종을 선정하였으며 Table 1과 같다. 원심력에 의한 슷돌파괴실험은 상기 연삭스틀의 직경을 변화시켜 시행하였는데, 최초 180mm에서 10% 감소시킨 162mm, 20% 감소시킨 144mm, 30% 감소시킨 126mm, 40% 감소시킨 106mm에 대하여 시행하였다.

또한, 실제의 평면연삭시 슷돌이 파괴될 때의 연삭깊이 실험에는 SM45C 재질로 가로80mm×세로120mm×두께 20mm의 표면거칠기용 시험편과 같으나 흠이 없는 것을 사용하였으며, 연삭스틀은 Table 1과 같이 하였다.

SM45C 경화열처리하는 담금질(850℃ 노속에서 40분간 유지)과 뜨임(170℃ 노속에서 가열후 50분간 공냉) 열처리를 시행하여 경도(HRC)가 14에서 55로 증가하였다.

3.2 실험장치 및 방법

본 연구에 사용된 실험장치의 제원은 Table 2와 같다. 표면거칠기 실험방법은 슷돌을 슷핀들에 장착한 후 트루잉을 수행하여 동심도를 맞추고, 드레싱을 실시하여 슷돌면의 밀도를 맞추고 연삭깊이는 4, 8, 12, 16, 20 μm의 5종류, 이송은 5, 10, 15, 20 m/min의 4종류로 하였으며

Table 2 Specification of experimental equipment

Name	Description and specification
Surface grinding machine	· Length × Width : 2000mm × 500mm · Rotative speed of grinding wheel : 2000m/min · Magnetic chuck(L × W × H) : 500mm × 20mm × 100mm
Surface roughness tester	· Model : SURFTEST 402 · Range of indication : 0.002~50.0μm · Cut off value : 0.25, 0.8, 2.5mm · Measuring : Ra, Rmax, Rz, Rt, Rq, Rq, Rp
Rotary destruction testing machine	· Maximum rotary speed : 14000rpm · Experiment Temperature : 0° over

연삭유제는 w1종 에밀전형 절삭유로 물과의 희석비율은 1:10으로 하였다. 원심력에 의한 슷돌파괴실험은 회전과 피시험기내에 연삭스틀을 장착한 후 파괴시까지 회전수를 일정하게 증가시켰으며, 최대회전수는 14000rpm이다. 평면연삭시 슷돌이 파괴될 때의 연삭깊이 실험은 연삭깊이를 파괴시까지 50(μm)씩 매회 연삭시 마다 증가시키며, 이송은 10, 20 m/min의 2종류로 하였다.

4. 결과 및 고찰

4.1 표면거칠기

Fig. 2는 입도 60, 결합도 I형의 슷돌로 건식시 경화열처리된 SM45C 및 SM45C, 회주철 GC15에 연삭깊이 증가에 대한 표면거칠기이다.

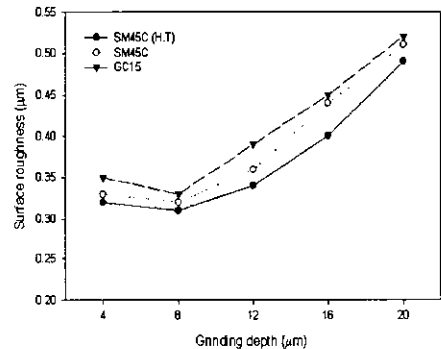


Fig. 2 Variation of surface roughness for the grinding depth (Grain size 60, grade I, feed 15 m/min, dry)

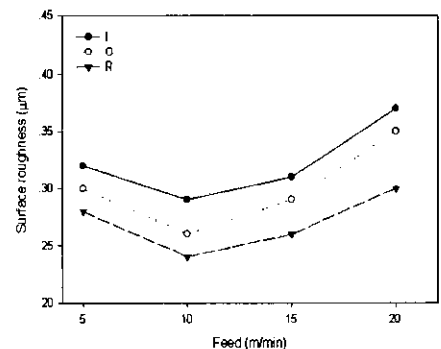


Fig. 3 Variation of surface roughness for the grinding feed (Grain size : 60, SM45C(quenching), grinding depth : 8μm, dry)

연삭깊이가 증가함에 따라 표면거칠기도 증가하며, 연삭깊이 8 μm 일 때가 가장 양호한 상태를 보여준다. 연삭깊이 4 μm 일 때가 8 μm 보다 큰 값을 나타내는 것은, 연삭입자의 절입치수가 너무 적어서 발생하는 비연삭저항의 증가로 인한 치수효과(size effect)와 연삭입자사이의 눈매움으로 인한 로오딩(loading)의 영향으로 판단된다. 재질별로는 경화열처리된 SM45C가 가장 양호하고 회주철 GC15이 가장 불량하다.

Fig. 3은 입도 60, 결합도 I,O,R형의 연삭숫돌로 경화열처리된 SM45C 건식시 이송증가에 대한 표면거칠기이다. 이송의 증가에 따라 표면거칠기는 다소 증가하며, 이송 10m/min 일때가 가장 양호하다.

이송 5m/min 일 때가 이송 10m/min 보다 더 거칠게 나타내는 것은, 이송이 너무 느려서 숫돌입자를 마모시켜 자생작용이 되지 않아 가공면을 손상하고 연삭상태의 불안정과 비연삭저항의 증가로에 기인한 것으로 사료된다. 결합도별로는 결합도가 큰 I,O,R 순으로 양호해진다.

4.2 표면거칠기에 대한 이론식과 측정값의 비교

Fig. 4는 입도 60, 결합도 I형의 연삭숫돌로 경화열처리된 SM45C를 연삭속도 2000 m/min, 연삭깊이 8 μm 에 대하여 건식으로 이송 5, 10, 15, 20 m/min의 변화에 따른 표면거칠기를 측정하고 이론식과 비교한 그림이다.

이송이 증가함에 따라 織岡의 제안식(1)은 측정값과 근접하나, 小野의 제안식(2)은 큰 차이를 보인다.

이론식은 이송, 절삭날 간격, 절삭날수 등으로 결정되지만 측정값은 연삭온도, 연삭깊이, 이송, 치수효과등 여러 연삭요인이 작용하기 때문에 차이가 발생한다.

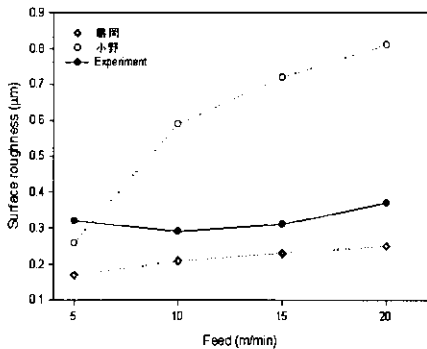


Fig. 4 Comparison of theoretical and experiment value of surface roughness

4.3 원심파괴회전수

Fig. 5는 입도 60, 결합도 I, O, R형의 연삭숫돌로 직경 변화율에 따른 원심파괴회전수이다. 그림에서 숫돌직경이 감소할수록 원심파괴회전수는 급격히 증가한다. 결합도별로는 결합도가 큰 I, O, R순으로 원심파괴회전수가 커진다. 이론값은 식(3)를 이용하여 다음과 같이 결정하였다. 숫돌의 인장강도(σ)는 인장시편을 제작하고 인장시험을 하여 결합도 I형의 인장강도 $\sigma = 0.36 \text{ N/mm}^2$, O형 $\sigma = 0.50 \text{ N/mm}^2$ R형 $\sigma = 0.64 \text{ N/mm}^2$ 값을 얻어 결정하였으며, 응력집중계수 k_t 는 2.5로 하였다. 그리고 숫돌의 내반경 $r_0 = 16 \text{ mm}$, 숫돌의 두께 $t = 16 \text{ mm}$ 이다. 그림에서 이론값은 실험값과 약 2%오차 내로 잘 일치한다.

4.4 숫돌이 파괴될 때의 연삭깊이

Fig. 6은 이송 10m/min, 결합도 I,O,R의 연삭숫돌(입도

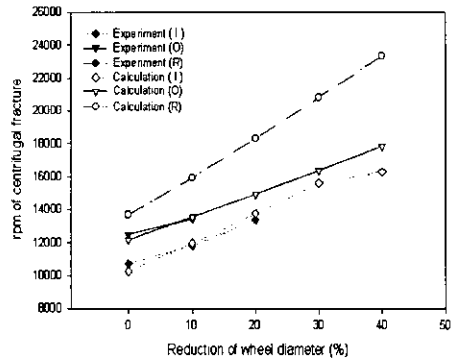


Fig. 5 Comparison of theoretical and experiment value of centrifugal fracture rpm

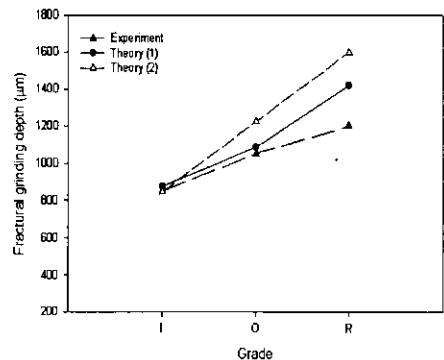


Fig. 6 Comparison of theoretical and experiment value of fracture grinding depth(feed 10 m/min, grain size 60)

60)에 대하여 평면연삭시 연삭깊이를 50 μ m씩 매회 증가시켜 스톨이 파괴될 때의 연삭깊이이다.

그림에서 실험값과 Theory I(식6), Theory II(식7)는 결합도가 클수록 스톨이 파괴될 때의 연삭깊이가 증가한다. 실험값은 결합도가 큰 순서인 I, O, R로 연삭깊이가 증가하며, R형 스톨이 파괴가 가장 늦게 나타난다. Theory I과 Theory II는 결합도가 낮은 I형에서는 거의 일치하나 결합도가 클수록 오차가 커져 Theory I은 실험값과 7%오차 이내에서 일치하나, Theory II는 약 30% 이상 차이가 난다. 이에 따라 Theory I과 같은 방법으로 스톨이 파괴될 때의 연삭깊이를 예측할 수 있다.

5. 결 론

본 연구는 평면연삭에서 경화 열처리한 SM45C와 SM45C, 회주철 GC15를 소재로 하고, 입도 60, 100, 결합도 I, O, R의 연삭스톨을 이용하여 연삭깊이, 이송 등과 같은 연삭조건 변화와 연삭유체의 사용유무에 따른 표면 거칠기를 측정하고 기존의 실험식과 비교하였다. 회전 파괴 시험기에서 원심력을 이용한 연삭스톨의 원심파괴 회전수와 스톨이 파괴될 때의 연삭깊이에 관해서 고찰한 것으로 본 연구에서 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 표면거칠기는 연삭깊이와 이송이 작을수록, 연삭스톨의 입도와 결합도가 커질수록 양호해진다. 또한 경화 열처리한 강이 열처리하지 않은 강보다 표면거칠기가 양호하며, 織岡의 실험식이 비교적 잘 일치한다.
- (2) 원심파괴회전수는 결합도가 높은 I, O, R 순으로, 직경이 작을수록 크고, 이론값은 실험값과 잘 일치한다.
- (3) 스톨이 파괴될 때의 연삭깊이는 결합도가 높은 I, O, R 순으로 커지며, 佐藤建兒의 연삭저항식을 이용한 이론값은 실험값과 잘 일치하여 스톨이 파괴될 때의 연삭깊이를 예측할 수 있다.

참 고 문 헌

- (1) 김광희 "적층연삭스톨을 사용한 원통연삭 공정에서 가공특성에 관한 연구" 한국공작기계학회지 제 9권 5 호, pp. 165~171, 2000.
- (2) S.Malkin, "Grinding Technology : Theory and Application of Machining with Abrasives", Ellis Horwood Limited, 1990.
- (3) 韓國産業安全公團, "産業災害 原因分析", pp. 33~37, 1998.
- (4) S. K. E. Yoshihisa, "Application of maximum Tensile Strain Criterion to the Fracture of Grinding Wheels", pp. 127~136, 1997.
- (5) M. C. Shaw, "Metal Cutting Principles", MIT Press, pp. 7~25, 1968.
- (6) 織岡, "On the Grinding Geometry for the Random Spacing of Abrasive Grains on Wheel Surface", 日本機械學會 pp. 1185~1193, 1985.
- (7) 小野, "粒子의 形狀分布가 研削仕上面에 미치는 影響", 日本機械學會論文集 pp. 671~679, 1964.
- (8) 佐藤建兒, "砥粒 및 砥石에 의한 加功", 日本 誠文堂新光社刊, pp. 88~93, 1971.
- (9) 竹中, "Thermal Expansions and Grinding Forces according Surface Grinding", JSPE, Vol.45, No.5, 1979.
- (10) 이윤호, "타상연삭작업시 안전에 관한 연구", 금오공과대학 석사학위논문, 1997.