

헬리컬 스캔 연삭법의 표면거칠기 향상 기구

Mechanism of Surface Roughness Improvement in the Helical Scan Grinding

진병순(와이지-원 공구기술연구소), 김한섭(울산대 대학원), 박규열(울산대)

Byoungsoon Jin (YJ-1), Hanseob Kim(Univ. of Ulsan), Kyuyeol Park(Univ. of Ulsan)

1. 서론

세라믹 재료는 높은 강도 및 경도를 갖는 기계적 성질로 인하여 연삭가공에는 다이아몬드를 지립으로 하는 초지립 스톨이 사용된다. 다이아몬드는 일반 지립에 비하여 내마모성이 월등하게 높다는 사실로부터 스톨의 트루잉 및 드레싱 작업이 극히 곤란한 것은 주지의 사실이다. 따라서 다이아몬드 스톨을 사용하는 연삭 공정의 작업효율을 높이기 위해서는 스톨의 빈번한 교환에 따른 트루잉 및 초기 드레싱작업을 가능한 회피하는 것이 바람직하다. 빈번한 트루잉 및 드레싱 작업은 작업효율의 저하 외에도 고가의 스톨을 과도하게 마모 시킴으로써 공구비용의 상승을 초래하는 등 많은 문제점을 내포하고 있다. 따라서 본 논문에서는 세라믹 재료의 연삭가공을 대상으로 가공정밀도(특히 표면 거칠기)와 가공능률을 동시에 향상시킬 수 있는 방안으로 헬리컬 스캔 연삭 방식(Helical scan grinding method)을 적용하여 세라믹 재료의 가공특성을 조사하였다

2. 헬리컬 연삭법

헬리컬 스캔 연삭법은 높은 제거량을 유지하면서 표면 거칠기를 동시에 향상시키고자 하는 방법으로서, 지석의 회전축을 일정량 만큼 경사시키는 방법을 일컫는다. 이 방법은 지석축을 경사시킴으로써 연삭가공에 작용하는 지립의 평균간격을 좁힘으로 표면거칠기를 향상시키는데 있으나 이 목적에 적합한 연삭기계가 개발되어 있지 않은 실정이다. 그러나 일반공작기계에 장착된 NC기능을 이용한 공구궤적을 이용하면 지석축을 경사시키는

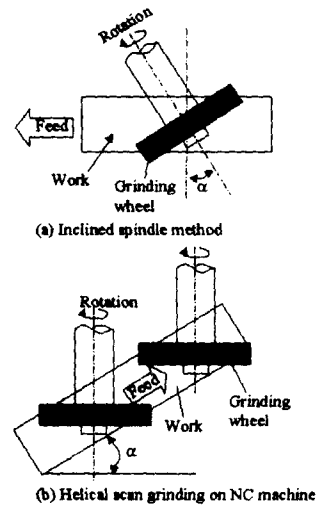


Fig. 1 Schematic illustration of helical scan grinding method

것과 동일한 효과를 얻을 수 있다. 동 방식을 적용효과에 관하여 실험적으로 조사된 자료에 의하면⁽¹⁾, 스톨의 경사각(헬리컬 각: Helix angle)과 피가공 재질에 따라서 연삭결과가 크게 좌우되는 것으로 보고되어 있다. 구체적으로는 스톨의 경사각도 30°의 조건에서는 일반 트래버스 연삭방식에 비하여 표면거칠기가 수배로 향상되는 것으로 보고되어 있다. 이는 스톨축의 경사에 따라서 연삭가공중에 인접한 연삭입자 사이에 실제 평균간격이 작아지는 효과에 기인하는 것으로 추정되고 있다.

3. 실험방법 및 사용재료

본 연구에서 연삭 실험은 Fig. 3에 나타낸 실험

Table 1. Specifications of experimental set-up

Machine tool	Machining Center(M/C):SIRIUS-2 type [HWACHEON HEAVY INDUSTRY Co., Ltd.]		
Grinding wheels	SD325P75B SD1200N70B SD325/1200		
Work piece		Si ₃ N ₄	Al ₂ O ₃
	Flexural strength	6.9MPa·m ^{1/2}	4.4 MPa·m ^{1/2}
	Hardness	1400HV(10)	1650 HV(10)
Truing & Dressing	WA120J7V(WA stick) WA180J7V(WA stick)		
Grinding Fluid	CEM, 2% dilution of water [NORITAKE CO., Ltd.]		
Measuring Instrument	Optical Dimensional Metrology Center [INTEK ENGINEERING Co., Ltd.] Particle Size Analyzer(Model : Elzone 280PC) MC818 Series Multi-Dynamometer [ADVANCED MECHANICAL TECHNOLOGY, Inc]		

장치의 사진과 같이 국내 화천 중공업[HWACHEON HEAVY INDUSTRY Co., Ltd.]사의 Machining Center(M/C):SIRIUS-2 type를 사용하여 헬리컬 각도를 조정할 수 있도록 하였으며 연삭가공 중에 발생하는 연삭력은 AMT [ADVANCED MECHANICAL TECHNOLOGY, Inc]사의 공구 동력계를 사용하여 가공 중에 실시간으로 측정하였다. 한편 가공결과는 연삭 저항 이외에도 광학식 치수 형상, 표면조도 측정기(Optical Dimensional Metrology Center)를 사용하여 표면 거칠기를 측정하였다. Table1은 연삭 실험의 시스템 사양 및 본 실험에

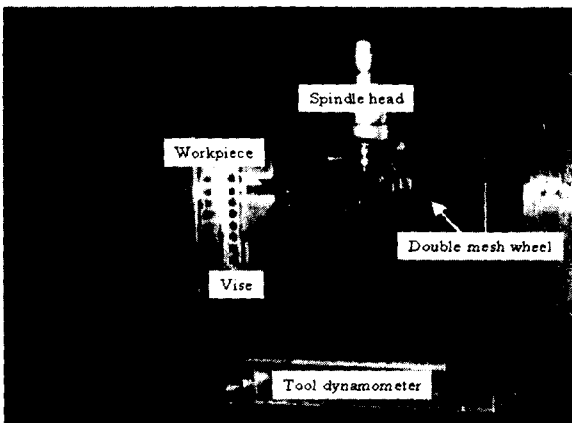


Fig. 2 View of experimental set-up

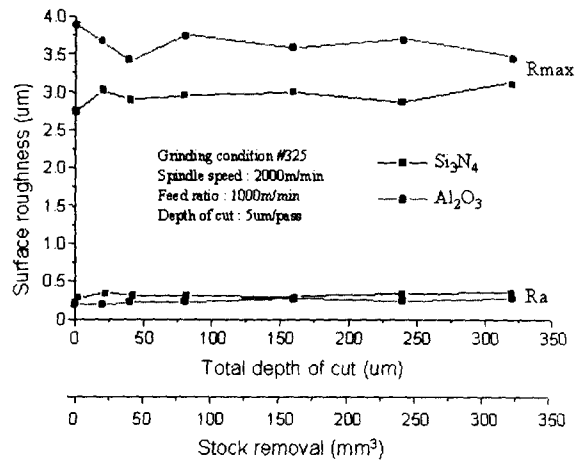


Fig. 3 Relationship between surface roughness and stock removal(#325)

사용된 피삭재의 기계적 특성을 나타내고 있다.

4. 실험결과 및 고찰

4.1 일반 연삭법에 의한 연삭 특성

Fig. 11은 실험에서 사용한 레진본드 다이아몬드 스톨의 연삭성능 유지능력을 조사하기 위하여 트래버스 연삭방식으로 테이블 이송속도: 1000mm/min., 연삭속도: 2000m/min 으로 제거 체적과 표면거칠기의 관계를 조사한 결과이다. #325 스톨의 경우, 절입량 5 μ m의 조건 하에서 표면거칠기가 질화규소는 약 Rmax: 3 μ m, 알루미늄은 Rmax: 3.5 μ m으로 나타났다. 피삭재에 따라서 표면거칠기의 차이를 나타내는 것은 재료 자체의 특성에 따른 표면의 미소 크랙과 기공에 기인하는 것으로 사료된다.

4.2 헬리컬 스캔 연삭법에 의한 연삭 특성

Fig. 3은 황삭용 #325 스톨을 사용하여 경사각(Helix angle)의 변화에 따른 표면 거칠기를 나타낸다. 피삭재의 재질과 가공 조건에 무관하게 헬리컬 스캔 연삭법을 적용함으로써 경사각이 0°(일반 트래버스 연삭)와 비교해서 표면 거칠기의 향상효과가 Fig. 3과 같이 얻어졌으며, 경사각

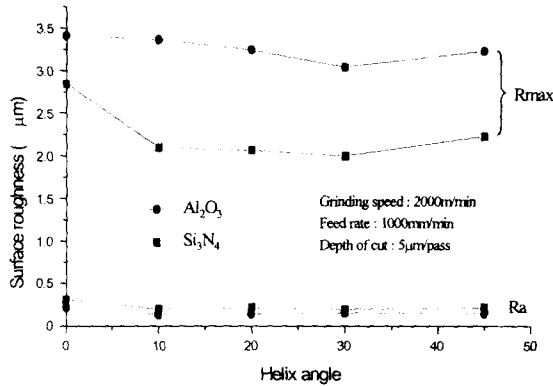
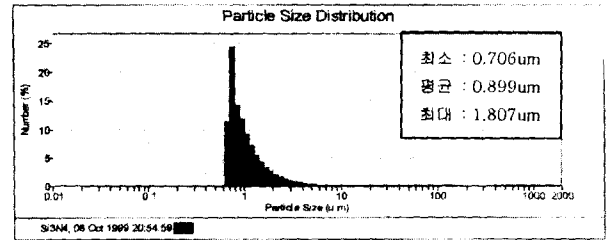


Fig. 4 Relationship between surface roughness and helix angle (#325)

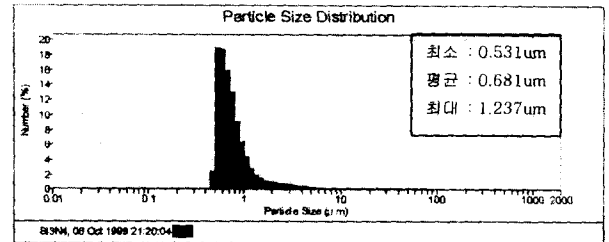
30° 전후에서 표면 거칠기의 향상효과가 현저한 것으로 확인되었으며 이때의 표면 거칠기는 Rmax: 2.0 μ m, Ra: 0.2 μ m 정도로 트래버스 연삭에서의 결과 Rmax: 3 μ m과 비교하면 실험결과의 차이가 대략 33%정도 향상된 것을 알 수 있다. 이는 전술한 바와 같이 헬리컬 스캔 연삭 방식을 적용함으로써 슷돌입자의 평균간격이 작아진 결과에 연유한 것으로 생각할 수 있다.

4.3 칩의 입도분석

Fig. 5는 헬리컬 스캔 연삭법의 적용효과를 정량적으로 분석하기 위하여 #325스틀을 사용하여 질화규소를 절입량: 10 μ m, 이송속도: 1000mm/min, 연삭 속도: 2000m/min의 조건 하에서 트래버스 방식(a)과 헬리컬 스캔 방식(b)으로 가공한 경우에 발생하는 칩의 크기를 입도분석기(Particle Size Analyzer)를 사용하여 조사한 결과이다. 헬리컬 스캔 연삭의 경우, 발생된 칩은 크기가 평균 0.681 μ m 전후에 분포하는 반면, 트래버스 방식에서는 평균값 0.899 μ m을 갖는 것으로 확인되었다. 일반적으로 칩의 크기는 단위 지립당의 제거단위(제거체적)에 비례하며, 단위 지립당의 제거단위는 연삭가공면의 창성에 있어서 평균 지립간격 및 연속지립간격과 관련하여 연삭면의 표면 거칠기와 직접적인 상관관계를 갖는 것으로 알려져 있다. 따라서 헬리컬 스캔 방식을 적용함으로써 칩의 크기가 작아진다는 사실은 연삭 작업면에



(a)traverse grinding



(b)helical scan grinding method(30°)

Fig. 5 Distribution of grinding chip

서 평균지립간격 혹은 연속지립간격이 작아진다는 것을 의미한다. 단, 헬리컬 스캔 방식에서는 슷돌의 원주속도 발생방향과 연삭이송 방향을 달리 한다는 운동기구를 고려하면, 헬리컬 스캔 방식의 적용에 의하여 연삭가공면의 창성에 있어서 작용 지립의 평균간격이 감소되는 가공기구가 발현되는 것으로 추정할 수 있다

4.4 표면 거칠기의 창성기구

연삭가공에서 공작물의 표면과 직접적인 접촉이 이루어지면서 표면 창성에 직접적인 관계를 가지고 있는 요소는 지립의 밀도, 평균지립간격, 연속 절인간격 등을 들 수 있다. 슷돌의 표면에는 다수의 지립이 산포되어 있으며 최외주면에서 수 μ m이 내에 위치한 지립만이 직접 연삭 작업에 관여하게 된다. 슷돌은 가공중에 마모와 탈락등의 과정을 거치면서 연삭작업을 수행하는 절인의 상태가 계속 바뀌게 된다. 이 때 단위 면적당 절인수를 C라 할 때 $a = \sqrt{1/C}$ 의 값을 평균절인간격 혹은 평균지립간격이라 한다. 한편 회전공구의 하나인 연삭스틀 내부에 지립의 분포가 일정하다고 가정할 경우 공구가 회전 하면서 공작물의 동일부위를 여

러 입자가 연속해서 가공을 수행하게 되며 이때 동일 부위를 지나는 연속 절인의 간격을 연속절인 간격이라 한다. 따라서 공작물의 표면을 창성하는 과정에서 슷들의 밀도가 높아지게 되면 단위 입자당 제거량은 감소하게 되며, 단위입자당 작용하는 부하 역시 감소하게 된다. 또한 지립 밀도의 증가는 평균지립간격 및 연속절인간격의 감소를 가져오며 따라서 공작물에 형성되는 표면 상태 역시 향상되는 효과를 가져온다. 한편, 일반적인 연삭 가공에서 표면거칠기를 향상시키기 위해서는 다음과 같은 방안이 적용될 수 있다.

- 1) 슷들의 지립밀도를 높이는 방법
- 2) 슷들의 입도를 높이는 방법
(미립자 슷들의 사용)
- 3) 슷들의 이송량 및 이송속도를 낮게 하는 방법

그러나 1)의 경우, 슷들의 집중도를 높이거나 대구경 슷들을 사용하는 방법 혹은 동일 슷들의 경우에는 연삭속도를 증대시킴으로써 슷들의 지립 밀도를 높이는 것이 가능하다. 단, 슷들의 집중도를 높이거나 대구경 슷들을 사용하게 되면 연삭가공 중에 배분력이 증가하여 기계적인 무리 및 형상정밀도를 제어하는 것이 곤란하게 된다. 또한 연삭속도를 높이면 가공 중에 연삭발열이 커지며, 피가공물에 열적 손상 혹은 변형을 초래하기 쉽다. 또한, 슷들의 입도를 높이는 2)의 방법은 실제로 연삭가공의 정상공정에서 미립자 슷들을 사용하는 방법으로 적용되고 있다. 그러나 미립자 슷들의 경우, 연삭가공의 능률이 제한되는 동시에 미립자 슷들의 낮은 연삭능력으로 인하여 빈번한 드레싱 작업이 필요하게 된다. 따라서 동 방안은 상대적으로 가공능률 및 공정효율의 감소를 감안하여야 하며, 3)의 방안 역시 가공능률이 저하된다는 문제점을 갖는다.

식(1)은 연삭후 공작물 표면 거칠기의 값을 예측하기 위한 실험식으로, 동 식에서 여러 가지 변

$$R_{max} = 1.36(W_o)^{1.2} \left(\frac{s}{b}\right)^{0.4} \left(\frac{v}{V}\right)^{0.4} \left(\frac{1}{D}\right)^{0.2} (\cot \alpha)^{0.4}$$

------(1)

v, V : 공작물 이송속도와 슷들의 원주속도
 α : 지립을 원추상으로 가정할 경우에 지립 선단의 반각
 W_o : 평균지립간격 D : 슷들의 직경
 s : 공작물 1회전당 슷들의 축방향 이송량
 b : 연삭폭

수의 관계를 살펴보면 공작물의 표면거칠기는 동일한 가공 조건에서 슷들의 평균지립간격과 직접적인 관계를 가지고 있는데, 평균지립간격이 작아지면 이것에 따라서 가공물의 표면거칠기 값은 좋아지게 된다.

4.5 실험결과의 고찰

본 실험에서의 가공 조건은 모두 동일하며, 연삭방법에 따른 차이만을 가지고 있으므로 식(1)을 이용하여 헬리컬스캔 방법과 일반 연삭방법에 의한 상대적인 슷들의 평균지립간격의 차이를 계산하면, 트레이스 연삭에 비해 헬리컬스캔 연삭법으로 가공을 함으로서 슷들의 평균지립간격 28.7% 작아진 것으로 나타났으며, 가공시 슷들의 연속절인간격은 49.1%로 작아짐을 보였다. 헬리컬스캔 연삭법을 이용한 가공시 동일한 슷들과 가공 조건을 사용하였음에도 불구하고 가공면에 작용한 평균지립간격과 연속절인간격은 상당히 좁게 작용하고 있음이 확인되었다. 이러한 이론적 계산 값을 토대로 헬리컬 연삭법을 사용하지 않고 일반 연삭법을 이용하여 동일한 가공 결과를 얻기 위해서는 식(1)의 계산에서 슷들의 직경으로는 7배 정도 커져야 하며 가공 속도로는 2.7배 정도 빠른 연삭 속도가 필요하다. 식(2)는 가공시 생성되는 칩의 체적을 예측하기 위한 이론적 계산식으로 동 식에서 공작물의 이송속도와 슷들의 원주속도가 일정 할 경우, 슷들의 밀도가 커지게 되면 즉, 연

$$Z_c = A \left(\frac{v}{V} \right) \left(\frac{1}{n} \right) \text{-----(2)}$$

A : 지석 절입량

n : 지석 작업면의 단위체적내의 절인수

Zc : 평균 칩의 체적

속절인간격이 작아지면 이때 생성되는 칩의 체적은 작아지게 된다. 이론적 칩의 체적은 동일 조건에서 헬리컬스캔 연삭법의 영향으로 슷돌 입자의 밀도가 크지는 효과에 따라 대략 49.1%정도 트래버스 연삭에 의한 칩의 체적보다 작아지는 것으로 계산되었으나, 전기의 실험결과에서는 칩의 크기가 24% 작아지는 것으로 측정되었다. 이론적인 계산 결과에 비해 실제 칩의 크기가 작아지는 비율은 다소 차이를 보이고 있으나, 이것은 식(1)과 (2)에 슷돌에 따른 결합도, 결합재, 입자의 종류 등 여러 가지 특성들과 가공중에 발생하는 슷돌 입자의 마모나 눈매움등과 같이 발생할 수 있는 여러 가지 변수들이 포함되어 있지 않는 이유에서 이러한 결과의 차이를 보이고 있다고 추정할 수 있다.

5. 결 론

본 연구에서 헬리컬스캔 연삭법을 이용한 연삭 실험을 실행한 결과, 다음과 같은 결론이 얻어졌다.

- 1) 헬리컬스캔을 이용한 연삭가공시 슷돌 밀도의 향상효과
- 2) 가공중 평균지립간격과 연속절인간격이 작아지는 효과
- 3) 연삭가공중 발생하는 칩의 크기가 작아지는 효과
- 4) 표면거칠기 향상효과

참 고 문 헌

- [1] 久留順誠, 安井平司, 中園汎, 細川晃 : レジンボンドCBN砥石による園筒ドラバース研削の研究(第1報), 日本國精密工學會誌, Vol.57/3, 1991, pp. 517~522.
- [2] 中川威雄 : ファインセラミックスの 高能率研削加工の研究, 東京大學生産技術研究所, 1988, 3, pp85~ 92.
- [3] T. Nakagawa and K. Suzuki : Highly efficient grinding of ceramics and hard metals on grinding center, 1986, Ann. CIRP 35(1), 205~210.
- [4] K.Suzuki, T.Uematsu, M.Aizawa, T.Nakagawa : Condition for high efficiency finish grinding by helical scan grinding method, 1st Intl abtec conf, 1993, 11, pp125~130.
- [5] 杉田忠彰, 外 : セラミックスの機械加工, 1985, 日本國 養賢堂.
- [6] 市田良夫, 貴志浩三, 蓮田裕一 : セラミックスの精密研削における微粒ダイヤモンド砥石の最適研削條件, 日本國精密工學會誌, Vol.58/6, 1992, pp. 145~151.
- [7] 河村末久, 外 : 研削加工と砥粒加工, 1984, 日本國 共立出版株式會社.
- [8] 細川 晃, 安井平司, 中園 汎, 工藤和生, 久留順誠 : レジンボンドCBN 砥石の目直しに関する研究(第3報), 日本國精密工學會誌, Vol.56/11, 1990, pp. 141~146.
- [9] 安井平司, 川下智幸, 大崎貢壽 : レジンボンドCBN 砥石の形直し特性の, 日本國 精密工學會誌, Vol.58/8, 1992, pp. 85~90.
- [10] 水谷 己, 足立和俊, 田中芳雄 : 粗粒ダイヤモンド砥石を用いた正面研削によるセラミックスの鏡面創成, 日本國精密工學會, Vol.68/11, 1997, pp.1578~1582.
- [11] セラミックス加研究會編 : セラミックスの

- 精密加工, 工業調査會, (1990) 136.
- [12] Y. Ichida et al. : On the Formation of Flow-type Chips in Precision Grinding of Oxide Ceramic Tool Materials, Proc. 28th Jap. Congr. Mater. Res.,(1985) 183.
- [13] 市田良夫, 貴志浩三, 蓮田裕一 : ファインセラミックスの鏡面研削に関する研究(第1報), 日本國精密工學會誌, Vol.57/8,1991,pp. 98~104.
- [14] 中園 汎, 安井平司, 久留順誠, 細川 晃 : レジンボンドCBN 砥石の目直しに関する研究(第2報), 日本國精密工學會誌, Vol.55/10,1989,pp. 142~147.
- [15] Milton C. Shaw : Principles of Abrasive Processing, Oxford Science Publications, 1996.
- [16] S. Malkin : Grinding Technology, Ellis Horwood Limited, 1989
- [17] Stuart C. Salaman : Modern Grinding Process Technology, McGraw- Hill, 1922