

미세홈 가공시 고압공기분사에 의한 형상정밀도의 향상

이석우*, 이용찬*, 정해도**, 최현종***

The Improvement of Form Accuracy by High Pressure Air Jet in Slot Grinding

S. W. Lee*, Y. C. Lee*, H. D. Jeong**, H. Z. Choi***

ABSTRACT

One of the recent changes in machining technology is rapid application of micro- and high precision grinding processes. A fine groove generation is necessary for the fabrication of optic, electronic and semiconductor parts, and achieved by chemical or mechanical processes. Slot grinding is very efficient for the generation of micro ordered groove with hard and brittle materials. As slot grinding is continuous, the ground depth become gradually shallow because of wheel wear. The form accuracy become worse from the increase of ground slot width by the loading phenomena at wheel side, results on chipping damage of the workpiece. The experiments achieve to the enhancement of the form accuracy and chipping free of the brittle materials using V shaped cast iron bonded diamond wheels. In this study we focused on the investigation of the effect of the high pressure air jet on the grinding characteristics. As a results, we found that the high pressure air jet is very effective on the reductions of the wheel wear, enhancement of the form accuracy.

Key Words : Slot grinding(미세홈가공), High pressure air jet (고압공기분사), Wheel wear (숫돌마모), Form accuracy (형상정밀도), Cast iron bonded diamond wheel (주철본드다이아몬드숫돌)

1. 서론

최근 경취성 재료이면서 난삭재인 초경, 세라믹스, 페라이트 등이 정밀전자부품의 재료로 각광을 받게 됨으로서 이러한 난삭재를 고능률, 초정밀로 가공할 수 있는 정밀가공기술이 요구되어지고 있으며, 또한 정밀가공기술을 실현할 수 있는 고정밀도

의 가공기계인 초정밀 가공기계의 개발도 요구되어지고 있다. 이러한 신소재는 전자부품, 광학부품 등으로 많이 사용되어지기 때문에 미세 형상을 가공할 있는 초정밀 가공기술을 필요로 하게 되었다. 현재 초경, 세라믹스 등과 같은 난삭재를 정밀하게 가공할 수 있는 특수가공법을 연구·개발 중에 있으나, 정확한 형상 정밀도와 고품위의 가공면을 얻

* 부산대학교 대학원
** 부산대학교 기계공학부
*** 한국생산기술연구원

기가 어렵고, 현장에서 생산기술로 적용하기도 아직 많은 문제점이 있다.

연삭에 의한 미세홈 가공기술은 양호한 표면 거칠기와 가공 정밀도가 요구되고 방전가공을 적용하기 어려운 세라믹스와 고분자 재료 등의 비전도성 재료의 가공에 사용될 수 있으며, 절삭가공이 힘든 초경합금 등의 고경도재료의 가공에도 적용이 가능하다.⁽¹⁻⁴⁾ 연삭 가공에 있어서 적절한 스톨의 선택과 드레싱/트루잉 기술은 고품위 연삭면과 형상정밀도를 얻기 위해서는 중요한 요소이다.⁽⁵⁾

주철 또는 강 분말 등과 같은 금속을 결합재로 사용하는 메탈 본드 스톨들은 강성이 높고, 스톨입자의 지지력도 좋다. 그러나 금속 결합재이기 때문에 스톨의 트루잉과 드레싱이 어렵다. 이와 같은 메탈 본드 스톨의 드레싱 문제를 해결하기 위하여 개발된 “전해 인프로세스 드레싱(Electrolytic In-Process Dressing:ELID) 연삭법⁽⁶⁾”에 의해 고강도 메탈 본드 스톨을 이용한 초경합금, 세라믹스 등의 경취성 난삭재의 고품위 연삭 가공이 실현되고 있다.

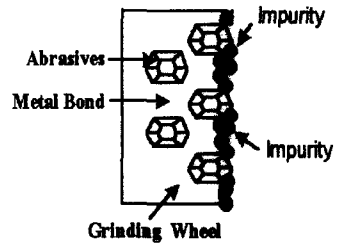
연삭 가공시 스톨 표면에서 노출된 입자는 연삭작용을 계속하는 동안에 차츰 마모가 진행되어 스톨 전체의 반경이 감소되며 스톨 날끝의 형상도 변화하게 된다. 마모는 스톨입자가 연삭저항에 의한 발열 때문에 국부적으로 경화되면서 탈락되는 것을 말한다. 스톨의 형상변화는 가공면 형상변화를 일으키기 때문에 제품의 형상정밀도를 떨어뜨리는 중요한 원인이 된다. 실험 결과 드레싱을 하지 않고 연속적으로 미세홈 가공(Slot Grinding)을 할 경우에 가공 깊이는 스톨의 마모로 인하여 점차 줄어들고 가공 폭은 스톨 옆면에서의 입자의 눈막힘(loading) 현상에 의해서 오히려 증가하게 된다. 이로 인해 가공물의 형상 정밀도뿐만 아니라 가공면의 품위도 나빠지게 된다.

본 연구에서는 드레싱을 하지 않고 연속적으로 미세홈 가공을 할 경우에 발생하는 스톨의 눈막힘 현상을 방지함으로써 가공물의 형상정밀도 향상과 고품위의 표면을 얻고자 하였다. 이와 같은 스톨의 눈막힘 현상을 방지하기 위하여 스톨의 가공면과 반대 방향에서 스톨 옆면에 고압의 공기를 분사하면서 가공 실험을 하여 가공물의 형상오차 등을 비교·분석함으로써 고압공기가 스톨에 미치는 영향을 해석 하고자 하였다.

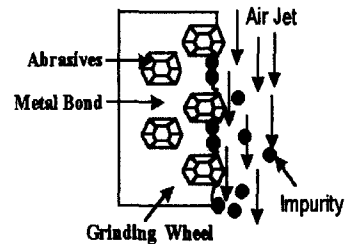
2. 고압공기분사의 기능

일반적인 초경합금은 경도, 인성, 내마모성을 가진 재료이다. 이러한 특성은 금속과 금속성형공구의 성능을 향상시키지만 초경합금의 연삭을 매우 어렵게 한다. 초경합금의 연삭가공을 할 때 연삭 스톨입자는 피삭재 표면상에서 텅스텐 카바이드 결정을 파괴한다. 연삭 부스러기는 칩이라기보다는 미세한 분말로 구성된다. 이러한 미세한 분말은 스톨 표면에 부착되기 쉽기 때문에 눈막힘 현상을 유발한다. 따라서 본 실험에서는 그러한 현상을 없애기 위해 가공중 스톨 표면의 이물질을 고압의 공기로 제거함으로써 눈막힘 현상을 방지하고자 한다.

Fig.1은 고압의 공기가 스톨 표면에 작용하는 효과를 나타내는 그림이다.



(a) general slot grinding



(b) slot grinding with air jet

Fig. 1 Effect of air jet

Fig.1에서 (a)는 일반적인 연삭가공에서 스톨에 이물질이 끼여 스톨 입자의 눈막힘 현상을 유발하는 것을 나타내고, (b)는 고압의 공기를 분사함으로써 이러한 이물질을 제거하여 눈막힘 현상을 방지

하는 효과를 나타낸다.

Fig.2는 초경을 가공하고 나서 슷들의 표면을 나타내는 사진이다. (a)는 일반적인 연삭가공한 슷들의 표면사진으로 슷들 입자의 돌출이 잘 나타나지 않고 슷들 표면상태도 나쁘다. (b)는 고압공기분사에 의해서 이물질 제거하여 슷들 입자의 돌출도 잘 되어 있고 깨끗한 슷들 표면을 나타낸다.



(a) without air jet



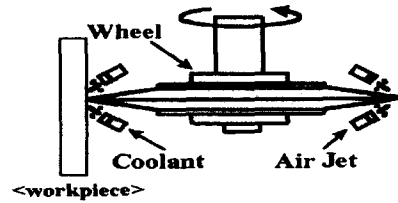
(b) with air jet

Fig. 2 Micrograph of wheel surface with and without air jet

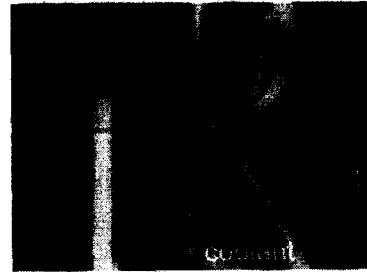
3. 실험장치 및 방법

3.1 실험장치

Fig.3은 본 실험을 위하여 제작한 고압의 공기 분사를 이용한 미세홈 가공 장치의 개략도를 나타낸다. Fig.3(b)는 실험장치를 수직형 머시닝 센터(ACE V30)에 장착한 사진이다. 공기의 분사는 슷들에 의해서 가공되는 가공면 반대편에 위치한 슷들의 옆면에 분사하였다.



(a) schematic drawing



(b) machining center

Fig. 3 Schematic and view of slot grinding with air jet

가공용 연삭 슷들은 최근 고품위 연삭가공에서 많이 사용하고 있는 메탈계 주철 본드 다이아몬드 슷들(Cast Iron Bonded Diamond Wheel)을 사용하였으며, 슷들 끝단의 각도가 52° 인 “V” 형상을 가지고 있다. 이를 수직형 머시닝 센터에 장착하여 미세홈 가공 실험을 하였다. 실험용 재료로 초경합금(10cm×10cm, 5t) 평판을 사용하였는데 가공깊이는 800 μ m으로 설정하였다. 실험조건은 Table 1에서 보여주고 있다.

Table 1 Experimental conditions

Wheel	Cast Iron Diamond Wheel (Φ 80, 52° V shape, #270)
Grinding method	slot grinding, down cut
Wheel speed	3000rpm($v = 760\text{m/min}$)
Work speed	100mm/min
Depth of cut	$t = 800\mu\text{m}$
Grinding fluid	soluble type ($\times 30$ diluted by water)
Workpiece	WC(M50) size : $10^L \times 10^W \times 5^T$
Air pressure	7kg/cm ²

3.2 실험방법

연삭숫돌은 가공전에 알루미늄 스틱으로 드레싱을 하여 숫돌입자 사이의 이물질 제거 후 미세 홈 가공 실험을 하였다. 이때 공작물의 이송속도를 100mm/min로 하였으며 가공깊이를 800 μ m, 1회 가공깊이를 100mm로 하여 연속적으로 가공하였다. 가공면에는 연삭유를 공급하였다. 그리고, 고압공기의 영향을 파악하기 위하여 가공면의 반대 방향에서 고압공기의 방향을 변화하면서 실험하여 가공물의 단면의 형상을 관찰함으로써 고압 공기가 가공 중 연삭 숫돌에 미치는 영향을 분석하였다. 가공도중에 드레싱이나 트루잉은 하지 않고 750cm(10cm \times 75pass)의 가공깊이를 연삭 가공함으로써 연삭 가공 중 고압공기의 유·무와 분사방향이 형상정밀도에 미치는 영향을 변수로 하여 실험하였다. 연삭 방식은 치핑 발생을 억제하기 위하여 하향 연삭(down cut)을 하였으며 가공폭과 가공깊이는 공구 현미경(OLYMPUS, MMDC201)으로 측정하였다.

4. 실험결과 및 고찰

실험은 3가지 경우로 행하였다. 연삭유만을 사용하였을 경우와 고압의 공기가 숫돌에 미치는 영향을 알기 위하여 고압의 공기를 숫돌의 옆면에 숫돌의 회전방향(시계 방향)과 동일한 방향(시계 방향)으로 분사하는 경우와 숫돌의 회전방향과 반대방향(반시계 방향)으로 분사하는 경우로 나누어서 실험을 행하였다.

Fig.4는 일반적인 연삭가공을 할 때처럼 연삭유만을 가공면에 공급하면서 미세홈 가공실험을 한 후 가공횟수에 따른 가공물 단면 홈의 사진이다.

Fig.5는 처음 가공한 홈의 형상과 마지막 가공한 홈의 형상을 비교하는 그림이다. Fig.4와 Fig.5를 보면 가공되어진 깊이는 가공횟수가 늘어날수록 숫돌의 마모에 의한 깊이가 줄어들고 반대로 가공 폭은 증가한다는 것을 알 수 있다. 연속적인 가공에 의해 가공깊이가 750cm 정도일 때 가공깊이는 처음보다 약 36 μ m 정도가 줄었으며 가공 폭은 가공깊이가 길어짐에 따라 점차적으로 증가하여 약 34 μ m 정도가 오히려 늘어났다. 깊이의 감소와 폭의 증가로 인해 가공물 홈의 각도도 약 4° 정도 증가하였다.

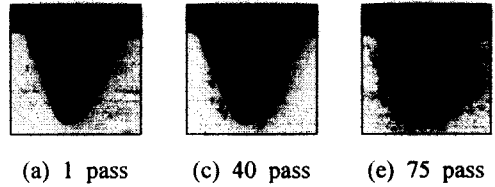


Fig. 4 Change of V-Face Groove with Coolant

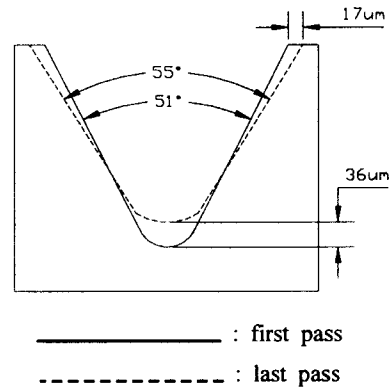
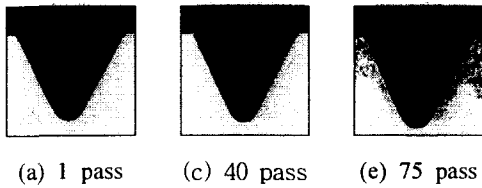


Fig. 5 Form after first and last pass with Coolant

초기보다 가공 폭이 증가하는 현상은 가공 중에 재료에서 발생하는 미세한 분말이 입자 사이에서 배출이 잘 되지 않아 숫돌 표면에 부착되어 숫돌 표면의 눈막힘 현상(loading)을 유발했기 때문이다. 또한 숫돌 입자사이에 긴 미세한 분말은 재료에 치핑(chipping)을 유발하여 홈의 표면평무를 떨어뜨리게 되고, 홈의 형상정밀도에 나쁜 영향을 주게된다. 이러한 현상을 제거하여 홈의 형상정밀도의 향상을 위하여 숫돌 표면에 미세한 분말이 부착되기 이전에 고압의 공기를 분사하여 미세한 분말을 제거하여 홈의 형상정밀도의 향상을 도모하려 한다.

연속적인 가공에서의 홈 형상정밀도 향상을 위한 방법으로 숫돌의 옆면에 고압 공기를 분사하였다. 고압 공기를 분사하는 방법은 숫돌 회전 방향과 동일한 방향으로 분사하는 방법과 반대 방향으로 분사방법을 택하였다.

Fig.6은 가공면의 반대방향에서 숫돌의 회전방향과 동일방향으로 고압의 공기를 분사하여 가공한 가공물의 가공횟수에 따른 가공물 단면 홈의 사진이다. Fig.7은 처음 가공한 홈의 형상과 마지막 가공한 홈의 형상을 비교하는 그림이다.



(a) 1 pass (c) 40 pass (e) 75 pass

Fig. 6 Change of V-Face Groove with Coolant and Air Jet (same direction)



(a) 1 pass (c) 40 pass (e) 75 pass

Fig. 8 Change of V-Face Groove with Coolant and Air Jet (opposite direction)

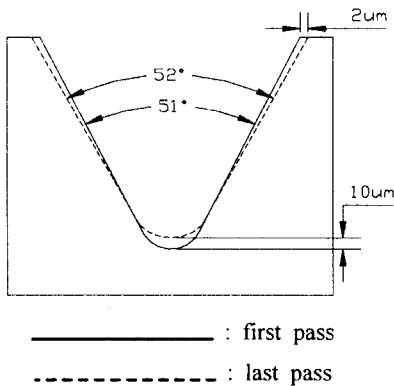


Fig. 7 Form after first and last pass with Coolant and Air Jet (same direction)

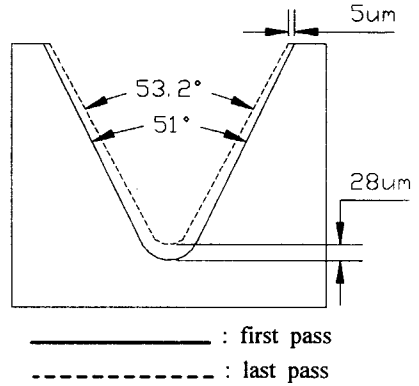


Fig. 9 Form after first and last pass with Coolant and Air Jet (opposite direction)

위와 같은 가공조건으로 동일한 가공길이(750cm)를 가공하였을 경우에 가공 깊이의 변화는 약 10 μ m의 값을 얻을 수 있었으며, 가공 폭의 변화도 약 4 μ m이고, 가공물 홈의 각도의 변화도 약 1° 정도의 거의 일정한 홈의 형상을 유지하고 있다는 것을 볼 수 있다. 위의 결과를 보면 고압의 공기가 슛돌입자 사이에 끼여 있는 미세한 분말을 제거하여 눈막힘 현상을 일어나지 않게 함으로서 거의 일정한 홈의 형상을 유지함으로서 연삭유만을 사용하여 실험한 경우보다 더 나은 형상정밀도를 얻을 수 있다는 것을 알 수 있다.

Fig.8은 가공면과 반대 방향에서 슛돌 회전 방향과 반대방향으로 고압의 공기를 분사하여 가공한 가공물의 가공횟수에 따른 가공물 단면 홈의 사진이다. Fig.9는 처음 가공한 홈의 형상과 마지막 가공한 홈의 형상을 비교하는 그림이다.

위와 같은 가공조건에서 동일한 가공길이(750cm)를 가공하였을 경우에 가공 깊이의 변화는 약 28 μ m 정도이고, 가공 폭의 변화도 약 10 μ m 정도이고, 가공물 홈의 각도는 약 2.2° 정도 변화였다. 이러한 결과는 연삭유만을 사용하는 경우보다는 좋았으나 슛돌의 회전방향과 동일한 방향으로 고압 공기를 분사하여 실험한 값보다는 좋지 않았는데, 이는 고압공기를 회전방향과 반대방향으로 분사함으로서 슛돌의 미세한 떨림을 발생시켜 슛돌과 가공면에 나쁜 영향을 주기 때문이다.

Fig.10은 앞의 세 가지 실험에서 나온 결과 중에서 가공횟수(100mm/1회)에 따른 가공폭의 변화를 비교 설명하는 그래프이고, Fig.11은 가공횟수(100mm/1회)에 따른 가공깊이 변화를 비교하는 그래프이다. 그래프의 값은 첫 번째 홈을 가공하였을 때 얻은 값을 기준값으로 하여 각 가공횟수마다의 가공 깊이와 폭의 오차량을 나타낸다.

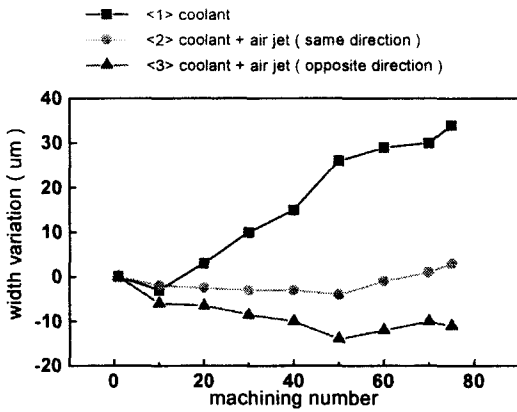


Fig. 10 Width variation of ground slot

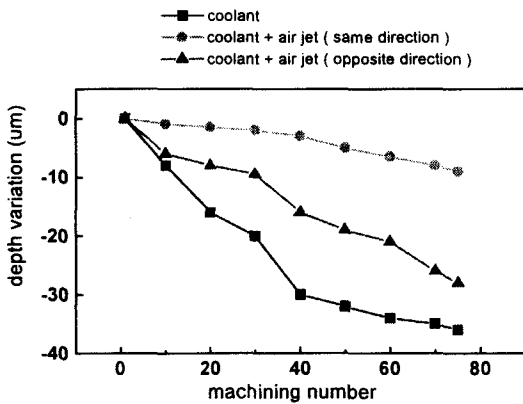


Fig. 11 Depth variation of ground slot

Fig.10과 Fig.11에서 알 수 있듯이 고압 공기를 스톨의 회전방향과 동일방향이 분사하여 주었을 경우가 가공되어진 홈 깊이와 폭의 변화가 가장 적게 나타났으며, 고압 공기를 사용하지 않은 경우가 홈 깊이와 폭의 변화가 가장 크게 나타났다. 스톨의 회전 방향과 반대 방향으로 고압 공기를 분사하였을 경우에는 고압공기를 사용하지 않는 경우보다는 좋은 결과를 얻었으나 고압공기에 의한 스톨의 떨림에 의하여 스톨의 회전방향으로 고압공기를 분사하였을 경우보다는 나쁜 결과를 얻었다. 또한 고압 공기를 사용하지 않은 경우에는 가공되어진 홈의 폭이 계속 증가하는데 이는 스톨 측면에서의 눈막힘 현상 때문이다. 이상의 결과에서와 같이 가공 중에 가공면의 반대 방향에서 스톨의 옆면에 고압

의 공기를 분사하는 것이 홈의 형상정밀도와 표면 품질에 좋은 효과를 가져온다는 것을 알 수 있다.

5. 결론

본 실험에서는 날 끝단의 각도가 52° 인 “V” 형상의 주철 본드 다이아몬드 스톨을 이용하여 초경을 가공할 때 가공면의 반대방향에서 고압 공기의 공급 유·무와 분사방향을 변화하면서 미세홈 가공을 하여 고압 공기가 형상정밀도에 미치는 영향을 분석하였다. 이때 가공면에는 항상 연삭유를 공급하였다.

1. 연삭유만을 공급하면서 미세홈 가공을 할 경우에는 스톨의 마모에 의해 가공깊이는 감소하는데 스톨 옆면에서의 눈막힘에 의해 홈의 폭은 오히려 증가한다.
2. 고압의 공기의 분사에 의해 스톨입자의 들출도 잘 되고 스톨표면도 깨끗해진다.
3. 가공면과 반대방향에서 고압공기를 분사하는 경우가 연삭유만을 공급하는 경우보다 형상오차가 적어 더 나은 형상정밀도를 얻을 수 있다.
4. 고압 공기를 분사하는 경우에도 스톨의 회전방향과 동일한 방향으로 분사하는 경우가 형상오차가 가장 적었다. 스톨의 회전 방향과 반대로 고압 공기를 분사하면 스톨의 떨림이 발생하여 홈의 형상정밀도가 앞의 결과보다 떨어진다.
5. 이상의 결과에서 양호한 형상정밀도를 얻기 위해서는 스톨입자의 상태가 항상 일정한 상태를 유지하도록 하는 것이 중요하다.

후기

본 연구는 97년도 교육부 학술연구조성비(기계공학 ME97-E-11)에 의하여 연구되었으며 이에 감사드립니다.

참고문헌

1. T. Matsuo, "Slot Grinding of Steel and Ceramic with Superabrasive Wheels," *Annals of CIRP*, Vol.37, No.1, pp. 315-318, 1988.
2. Y. Ichida, "A Study on Slot Grinding of Single Crystal Mn-Zn Ferrite," *Preprint of spring*

- conference of JSPE, pp.39, 1991.
3. Y. Ohbunchi, "Chipping in High precision Slot Grinding of Ferrite," Annals of CIRP, Vol.44, No.1, pp.273-277, 1995.
 4. S. J. Heo, "Study on High Efficiency Grinding Condition of WC-Co," J. of KSME, Vol.17, No.3, pp. 721-730, 1993.
 5. R. Komanduri, "A New Technique of Dressing and Conditioning Resin Bonded Superabrasive Grinding Wheel," Annals of CIRP, Vol.29, No.1, pp. 239-243, 1980.
 6. H. Ohmori, "Analysis of Mirror Surface Generation of Hard and Brittle Materials by ELID Grinding with Superfine Grain Metallic Bond Wheels," Annals of CIRP, Vol. 44, No. 1, pp. 287-290, 1995.