

초미립 WC 소재 엔드밀 공구의 성능 평가에 관한 연구

김도형*, 김정석⁺, 우용원⁺⁺, 이현호⁺⁺
(논문접수일 2007. 4. 12, 심사완료일 2007. 7. 22)

A Study on the Performance Evaluation of End Mill Tool Fabricated by Ultra-Fine WC

Do-Hyoung Kim*, Jeong-Suk Kim⁺, Yong-Won Woo⁺⁺, Hyun-Ho Lee⁺⁺

Abstract

The ultra-fine tungsten carbide(WC) powders have been actively used in the cemented carbides industry, because they have excellent mechanical properties such as high hardness, strength, and toughness. In this study, ultra-fine WC-Co alloys powders have been fabricated by thermochemical and thermomechanical process such as spray conversion process or high energy ball milling. The non-coated end-mill which is made of ultra-fine tungsten carbide is investigated by measuring cutting force, tool wear, tool life, and surface roughness profile according to cutting length. The machining test was conducted with high hardened workpiece and their performances are investigated in high speed cutting conditions. Also, the relationship between the machining characteristics and the Co contents are investigated under various high speed cutting conditions.

Key Words : Ultra-fine Cemented Carbides(초미립 초경합금), Non-coated End-mill(무코팅 엔드밀), Tool Wear(공구마멸), Mechanochemical Process(기계화학적방법 : MCP), Tool Life(공구수명), High Speed Cutting(고속가공)

1. 서론

엔드밀 공구의 대표적인 공구소재인 초경합금은 일반적으로 WC 등의 탄화물 입자와 소량의 철족원소 등으로 구성되어 있으며, 분말야금법에 의해 제조하게 된다. WC-Co계

초경합금의 특성은 화학적 조성, WC 입자의 입도 분포 및 합금중의 탄소량, 미세조직, 기공도, 이물질과 같은 결함 등에 의하여 영향을 받는다. 이 중에서 특히, WC 입자의 크기와 WC 입자 사이의 Co층의 두께(Mean free path)는 초경합금의 특성을 결정하는 가장 중요한 변수로서 WC 입자의

* 부산대학교 정밀정형 및 금형가공연구소
+ 교신저자, 부산대학교 기계공학부
주소: 609-735 부산광역시 금정구 장전동 산 30번지 (juskim@pusan.ac.kr)
++ 나노테크(주)

크기가 감소하고, WC 입자 사이의 Co층의 두께가 짧아질수록 초경합금의 기계적 특성이 향상되므로 WC-Co 초경합금의 특성을 향상시키기 위해서는 WC 입자를 작게 하고, Co와 WC의 혼합 균일성을 높이는 것이 필요하다⁽¹⁾.

국내에서는 1960년대부터 초경합금을 개발하기 시작하여 1970년대부터 초경제품이 상업화되기 시작했으며, 1980년대부터 0.5 μ m 크기의 입도를 가진 초경합금 제품을 생산하고 있으나, 외국의 기술수준에는 미치지 못하고 있는 실정이다. 현재에는 100nm 크기의 초경분말을 사용한 최종소결품의 입자는 200nm 크기를 나타내며 현재에 사용되는 초경합금에 비해 경도와 항절력이 향상된 것으로 나타났다.

이러한 초미립(Ultra-fine) 초경합금은 경도, 강도 그리고 인성 등이 높은 매우 우수한 기계적인 특성을 갖고 있기 때문에 최근 초경산업의 큰 관심을 끌고 있다^(2,3). 따라서 본 연구에서는 기계화학적 방법(Mechanochemical process, MCP)으로 제조된 초미립 초경분말을 사용한 초경환봉 소재로 엔드밀을 제작하여 초미립 초경소재의 미세구조와 기계적 특성을 파악하고, 고속가공에서 회전수 변화에 따른 공구마멸 및 공구수명을 관찰하여, 초미립 초경소재를 사용한 엔드밀 공구의 성능을 평가한다.

2. 초미립 초경합금 엔드밀의 제조

초미립 초경 엔드밀 공구를 제작하기 위해서는 초미립 초경합금 분말을 먼저 제조하고 이 초경합금 분말을 이용하여 소결체를 만든 후, 최종 환봉으로 공구 형상을 가공하게 된다. 초미립 초경합금 분말의 제조 공정은 Fig. 1에서 간략히 나타내었다.

최초 W과 Co의 수용성 염인 AMT(Ammonium metatungstate) $(NH_4)_6(H_2W_{12}O_{40} \cdot 4H_2O)$ 와 Co nitrate $(Co(NO_3)_2 \cdot 6H_2O)$ 그리고 입자성장억제제가 포함된 염을 수용액 상태로 제조한 뒤에 분무건조기에서 분무건조하여 원료물질이 균일하게 혼합된 약 20~50 μ m의 중공구조의 시초분말을 제조한 다음, Rotary kiln 방식의 염제거로에서 시초분말의 수분과 NO_x/NH_3 성분을 제거하고 W 산화물, Co 산화물과 W-Co 복합 산화물을 생성한다. 환원공정은 염제거 공정에서 제조된 W, Co 복합 산화분말을 수소가스를 이용하여 순수 금속분말로 만드는 공정이다.

초미립 초경분말을 제조하는 기계화학적 방법(MCP)은 일반적으로 사용하는 열화학적 방법(Thermochemical process, TCP)과는 환원, 침탄공정에서 차이가 난다. 열화학적 방법은 환원과 침탄반응을 하나의 공정으로 진행하기 위해서 특

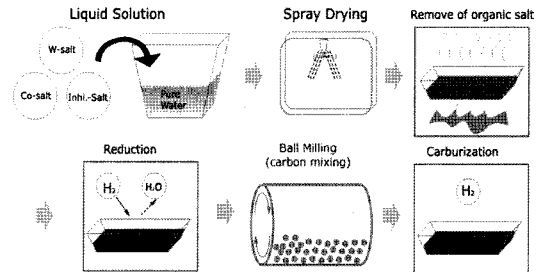


Fig. 1 Process of ultra-fine cemented carbide powder manufacturing

정가스(CO , CO_2 , CH_4)를 이용하여 WC를 제조하나, 기계화학적 방법은 환원과 침탄공정을 분리시키고 WC를 제조하기 위한 탄소공급원으로 카본블랙 분말을 이용한다⁽⁴⁾. 이러한 과정으로 생산된 초미립 WC 분말을 소결한 후, 연삭과정을 통해 최종 환봉소재를 제작하였으며 각각 2 μ m과 4 μ m의 엔드밀을 제작하였다.

3. 실험장치 및 방법

2 μ m로 제작한 일반가공용 초미립 WC 소재 엔드밀 공구의 가공특성을 평가하기 위해 Fig. 2와 같이 공구마멸 시편, 절삭력 시편, CCD, 그리고 표면조도 시편을 베드위에 동시에 설치하였으며 Fig. 3에 나타난 공작물 시편은 STD11(H_RC 25)을 사용하였다. 그리고 4 μ m로 제작한 고속가공용 초미립 WC 소재 엔드밀 공구의 가공특성을 평가하기 위해 가공시편을 고경도강인 STD11(H_RC 60)을 사용하여 공구

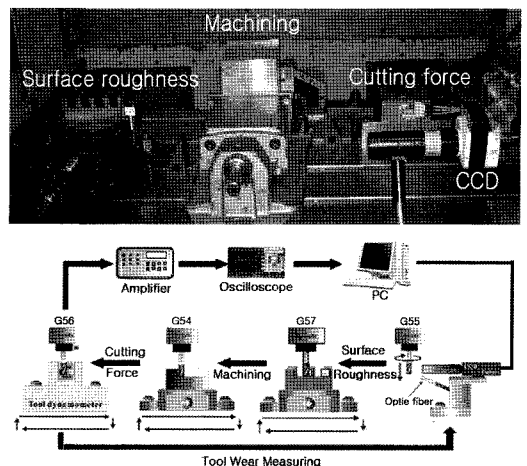


Fig. 2 Schematic diagram of measuring system

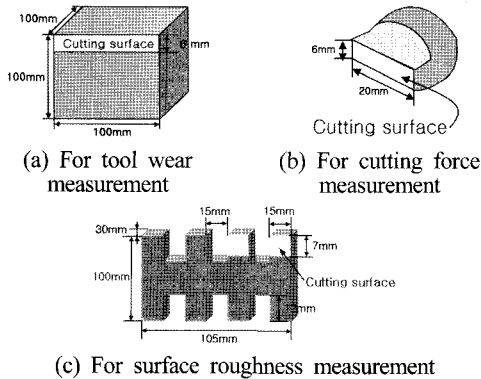


Fig. 3 Workpiece shape for measurement

마멸 특성을 평가하였다.

절삭시험은 고속머시닝센터(Makino V-55, Max 20,000 rpm)로 건식에서 실험하였고, 초미립 조정공구의 마멸거동을 관찰하기 위해서 일반가공용 2날 엔드밀의 경우 주축회전수를 8,000rpm, 10,000rpm, 12,000rpm으로 변화시키고, 고속가공용 4날 엔드밀의 경우 주축회전수를 14,000rpm으로 변화시키고, 절입과 이송은 각각 일정하게 유지하였다. 공구 마멸 측정시스템에 사용된 장치들은 Table 1에 나타내었고, Table 2에는 가공성 평가를 위한 절삭 조건을 나타내었다.

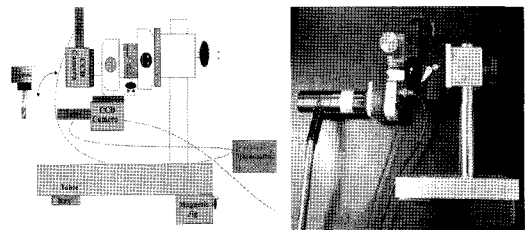
공구의 마멸측정은 여유면(Flank face)에서 0.2mm(ISO 3002/1)를 기준으로 하여 축방향 절입깊이 내의 절삭날부 3 지점을 측정하여 평균하였다⁽⁵⁾. 마멸에 따른 공구의 형태를 관찰하기 위해서 주축에서 공구홀더(Tool Holder)를 분리할 때 발생할 수 있는 런아웃 등의 오차를 방지하고 위치정밀도를 유지하기 위하여 Fig. 4의 CCD카메라를 이용하였다. 엔드밀 공구는, 원주방향으로 여유각, 경사각, 축방향으로 헬리스각을 가지는 특이한 기하학적인 형상을 가지기 때문에 공구마멸 측정시에 정확하게 동일한 위치에서의 마멸측정이 곤란하다. 측정부위가 곡면이고 조명이 분산되어 선명한 마멸 이미지의 획득에 어려움이 있으며, 광학현미경에서 공구마멸을 측정할 경우 공구를 분리하여 측정함으로써 인하여 측정 위치가 달라지거나 반복적인 측정정밀도가 낮아지게 된다. 이러한 오차감소를 위한 CCD장치는 측정시 발생하는 오차와 공구마멸 측정시 측정오차 성분들을 최소화하기 위하여 삽입형(Insertion type) CCD 카메라와 전용지그를 사용하였다. 공구마멸 장치의 제작으로 기상계측이 가능하고, 공구탈착에 의한 시간지연, 측정오차가 감소하였다. 또한, 가공기의 서브 프로그램 작동으로 동일한 위치에서 정확한 측정가능, 지그의 회전에 의한 엔드밀의 측면뿐만 아니라 밑면 측정 가능,

Table 1 Specifications of experimental instruments

| Instrument | Specification |
|--------------------|--|
| Machining Center | MAKINO V55(Max 20,000rpm) |
| Dynamometer | 9251A(Kistler) |
| Oscilloscope | 4Ch, Max Sampling : 400kHz |
| Amplifier | 5019A(Kistler) |
| CCD Camera | PULNIX($\times 200$) |
| Surface tester | Surtronic 3 ⁺ (Taylor Hobson) |
| Optical microscope | STM-MJS2(Olympus) |
| SEM | HITACHI S-3500N |

Table 2 Cutting conditions for machining evaluation

| Condition | | |
|---------------------------|--|---------------------------|
| End-mill tool | $\varnothing 6$ flat 2-flute / 4-flute | |
| Spindle revolution [rpm] | 2-flute | 8,000 10,000 12,000 |
| | 4-flute | 14,000 |
| Feed per tooth [mm/tooth] | 0.04 | |
| Radial depth of cut [mm] | 0.04 | |
| Axial depth of cut [mm] | 6.0 | |
| Cutting fluid | Dry | |
| Workpiece | 2-flute | STD11(H _R C25) |
| | 4-flute | STD11(H _R C60) |



(a) Wear measurement

Fig. 4 Wear measurement of Multi-cutting tool

광원의 각도와 밝기에 따른 측정오차(엔드밀의 기하학적 형상, 관측자의 주관, 반복 측정)가 감소하였다⁽⁶⁾.

한편 고속가공에서는 주축회전수가 높아서 매우 높은 고주파가 발생하게 되는데 고주파수 영역에서 안정된 응답특성을 갖도록 개발된 고속가공용 공구동력계로 절삭력을 획득하였다.

표면조도 시편의 조도를 측정은 Taylor Hobson사의 Sur-

tronic 3+ 를 사용하였으며 조도시편의 축방향 4mm의 길이로 이송방향 3부분을 측정하여 평균값을 측정하였다.

본 실험에서는 절삭거리에 따라 공구마멸량, 절삭력, 표면조도를 측정하여 초미립 초경소재 엔드밀 공구의 특성을 파악하고자 하였다.

4. 실험결과 및 고찰

4.1. 초미립 초경소재의 기계적 특성과 미세구조

먼저 2날로 제작한 일반가공용 초미립 초경소재 및 국외소재의 기계적 특성은 Table 3과 같고, 4날로 제작한 고속가공용 초미립 초경소재 및 국외소재의 기계적 특성은 Table 4와 같다. 초미립 초경소재 및 국외소재는 8~13wt.%Co의 조성을 가지고 있으며, 소재의 항절력(TRS)값은 2829~4547 N/mm²의 값을 나타내었으며, 경도값(HRA)은 91.5~94.0 HRA 값을 나타내었다. 소재에 따라 다양한 특성을 보이는 이유는 각 공구 제조사에서 자사 공구의 형태나 가공조건 등에 따라 입자성장억제제나 Co의 함량을 달리하기 때문이다. Table 3과 Table 4의 결과값은 나노테크(주) 부설연구소에서 측정된 값들이다.

일반적으로 초경합금의 특성은 화학적 조성, WC 입자의 입도 분포 및 합금중의 탄소량, 미세조직, 기공도, 입자성장억제제, 이물질 등에 의하여 영향을 받는다. 특히 WC 입자의 크기와 WC 입자 사이의 Co층의 두께는 초경합금의 특성을 결정하는 가장 중요한 변수이며, 입자성장억제제 또한 초경합금의 특성을 결정하는 변수로 작용하는데 일반적으로 VC, Cr3C2, TaC, NbC, TiC, HfC, ZrC, Mo2C와 같은 천이금속 탄화물들을 첨가하여 비정상입자 성장을 억제한다⁽⁴⁾.

Hall-petch 방정식($Hv=550+(23500/(dwc)1/2)$)에 따르면 경도는 동일한 Co 조성에서 주로 WC 입도에 직접적인 영향을 받으며, WC 입자가 크기가 미세할수록 그 값이 증가한다. 또한, 동일한 입자 크기에서는 Co 함량이 적을수록 경도는 증가한다. 결과적으로 고경도 특성은 WC 입자 크기의 미세화와 낮은 Co 함량으로 도달 할 수 있음을 의미한다^(7,8).

항절력은 Co의 함량이 증가할수록 선형적으로 증가하고, 반대로 경도는 감소한다. 또한 항절력은 소결시 결합제로 사용하는 WC 입자 사이의 Co층의 두께와 연성효과에 의해서, Co 함량이 증가할수록 항절력도 증가한다. 따라서, 초경합금 소재의 대표적인 특성치인 경도와 항절력은 서로 상반되는 관계를 가지고 있으며, 공구소재 제작시 용도 및 목적에 따라서 고경도와 내마모 특성이 요구되는 소재는 상대적으로 작은 Co 조성으로 제조하여야 하며, 인성이 요구되어지

Table 3 Specifications of 2-flute end-mill(*Domestic, **Foreign)

| Maker | Density (g/cm ³) | Hardness (HRA) | TRS (N/mm ²) | Co Content (%) | WC size (μm) |
|--------|------------------------------|----------------|--------------------------|----------------|--------------|
| B(1)** | 14.56 | 93.4 | 3818 | 8 | 0.2~0.5 |
| B(2)** | 14.07 | 92.8 | 4106 | 12 | 0.2~0.5 |
| C** | 14.48 | 93.7 | 2829 | 9 | 0.2 |
| D(1)** | 14.33 | 94.2 | 2851 | 9 | 0.5 |
| D(2)** | 14.11 | 92.7 | 3714 | 12 | 0.5 |
| D(3)** | 13.94 | 92.6 | 3363 | 13 | 0.5 |
| N(1)* | 14.50 | 94.0 | 3487 | 8 | 0.2 |
| N(2)* | 14.27 | 94.0 | 3482 | 9 | 0.2 |
| N(3)* | 14.10 | 92.7 | 3837 | 12 | 0.2 |

Table 4 Specifications of 4-flute end-mill(*Domestic, **Foreign)

| Maker | Density (g/cm ³) | Hardness (HRA) | TRS (N/mm ²) | Co Content (%) | WC size (μm) |
|----------|------------------------------|----------------|--------------------------|----------------|--------------|
| A** | 14.41 | 91.5 | 4087 | 10 | 미상 |
| B(1-1)** | 14.35 | 91.5 | 3655 | 10 | 0.5~0.8 |
| B(2-1)** | 14.13 | 92.6 | 4547 | 12 | 0.2~0.5 |
| C(1-1)** | 14.34 | 91.5 | 4028 | 10 | 미상 |
| N(1-1)* | 14.42 | 93.9 | 3763 | 9 | 0.2 |
| N(2-1)* | 14.20 | 93.5 | 3646 | 10 | 0.2 |
| N(3-1)* | 14.08 | 92.8 | 3998 | 12 | 0.2 |

는 소재는 상대적으로 높은 Co 조성으로 합금설계가 이루어져야 한다.

Fig. 5의 그림에는 실험에 사용한 엔드밀의 조직 미세구조를 나타내었다. Fig. 5(a)에서 나타난 검은색 점은 소재 제작시에 Carbon의 첨가량이 많아 조직내에 Free Carbon이 형성된 것으로 사료되며, 이는 공구마멸 테스트에서 공구수명이 매우 짧은 것으로 나타났다. Fig. 5(b)와 Fig. 5(c)에서의 단면을 보면 입자의 크기가 균일하지 못함을 알 수 있는데, 다른 소재의 물성치와 비교하여 공구마멸 실험에서 높은 수명을 나타내지 못하였던 원인으로 사료된다. 특히 Fig. 5(c)의 그림에서는 WC 입자의 불균일 성장을 모습을 관찰할 수 있으며, 공구수명 저하의 원인으로 보여진다. Fig. 5(d)의 그림에서는 입자성장이 없는 균일한 입도를 보이는데, 주축회전수가 높아질수록 우수한 공구수명을 나타내고 있다.

4.2. 초미립 초경소재와 국외 소재의 성능평가

4.2.1. 공구소재에 따른 공구마멸 특성

일반 가공용으로 제작된 2날 엔드밀의 마멸실험은 Fig. 6-8

에 나타내었다. 국내에서 제작된 N(1), N(2), N(3) 공구는 Fig. 6의 8,000rpm 실험에서 다른 국의 공구보다 우수하지 못한 성능을 나타내었는데, Fig. 7의 10,000rpm에서는 N(1)

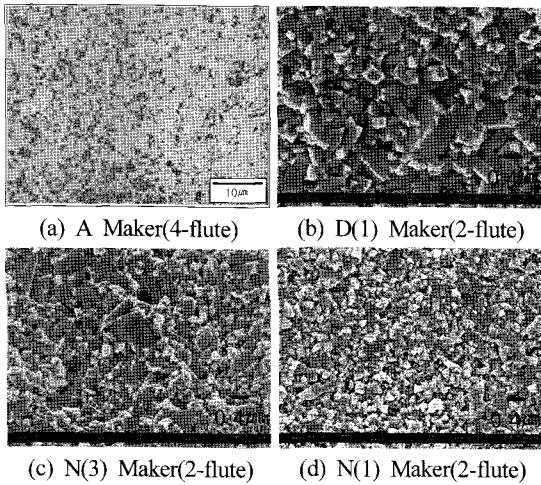


Fig. 5 End-mill structure by optical microscope($\times 2000$) and scanning electron microscope(SEM, $\times 15000$)

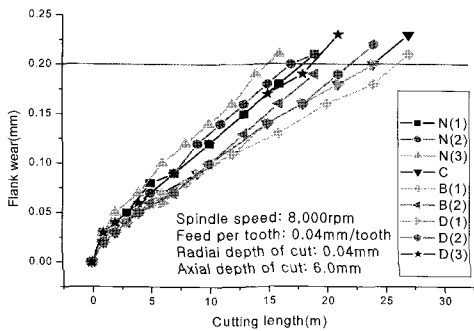


Fig. 6 Tool wear according to cutting length(8,000rpm)

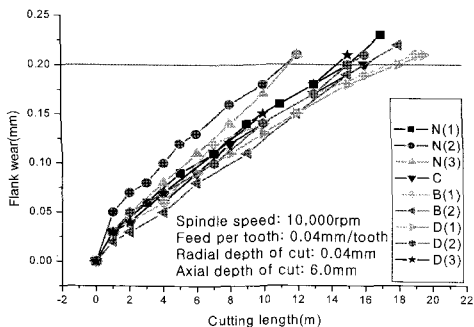


Fig. 7 Tool wear according to cutting length(10,000rpm)

공구가, Fig. 8의 12,000rpm에서는 N(1), N(2)공구가 국외의 공구와 비슷한 성능을 나타내었다. 국내에서 제작된 공구의 공구수명이 가공속도가 빨라짐에 따라 늘어나는 것을 알 수 있었으며, 한편 Fig. 9의 14,000rpm의 실험결과를 보면, 일반 가공용으로 제작된 2날 엔드밀에 비하여 입자성장억제제의 성분변화가 있지만, 고속가공용으로 제작된 4날 엔드밀의 마멸실험에서 초미립 초경소재의 공구수명이 모두 우수한 것으로 나타났는데, 결과적으로 이는 국내의 초미립 초경공구가 고속가공에 적합하고, 고경도 소재의 가공에도 적합함을 보여 주고 있다.

국내의 초미립 초경소재를 사용한 공구 중에는 Co의 함유량이 가장 낮은 N(1), N(1-1) 공구가 우수한 결과를 나타내었다. 또한, Fig. 9에 나타난 A, B(1-1), B(2-1)의 마멸 그래프에서 가공 후기에 비정상적인 마멸을 보이고 있는데, 이는 가공 중에 일어난 치핑(Chipping)으로 공구수명이 급격히 감소한 것으로 나타났다. Fig. 10의 사진에는 마멸실험 동안 일어난 공구의 마멸경향을 보주며, 치핑이 일어난 모습을 관찰할 수 있다. 이와 같은 공구에 나타난 치핑현상은 고속, 고경도 소재의 가공에서 공구의 수명을 결정하는

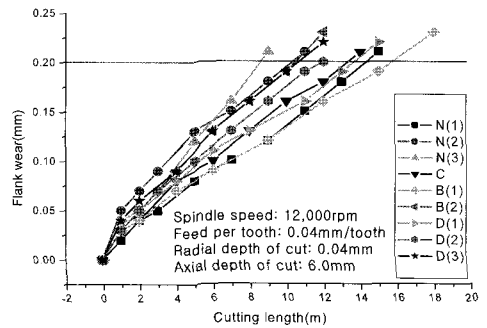


Fig. 8 Tool wear according to cutting length(12,000rpm)

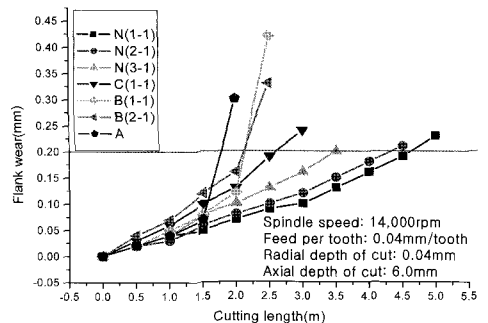


Fig. 9 Tool wear according to cutting length(14,000rpm)

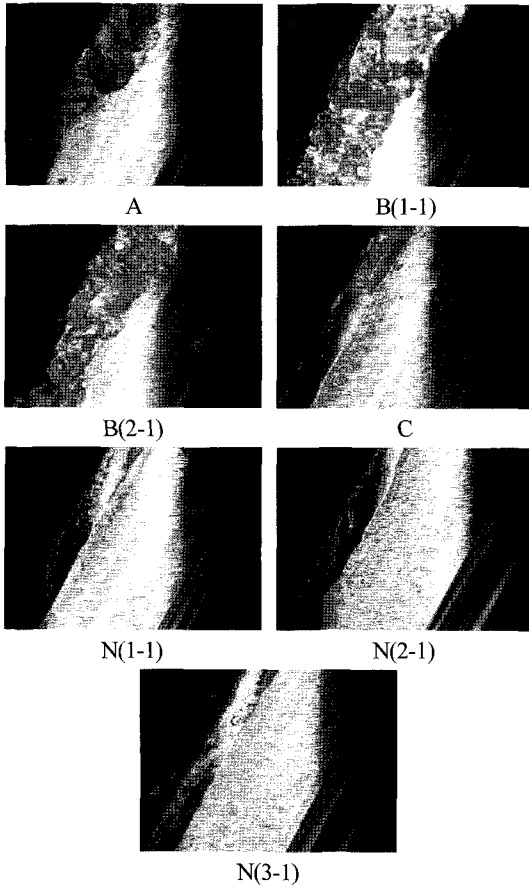


Fig. 10 Flank wear pattern according to cutting length by CCD(14,000rpm)

중요한 요인이 됨을 알 수 있으며, 초미립 초경소재 엔드밀은 다른 공구에 비하여 상대적으로 내치핑성이 높은 것으로 사료된다.

4.2.2. 절삭력의 특성

절삭력은 공구의 수명을 간접적으로 판정하는 방법 중의 하나이다. 절삭력 파형에서 평균절삭력의 크기를 구하기 위해서 유효절삭력 개념을 도입하였다.

단속절삭의 경우 전체 절삭력의 평균값은 비절삭시간의 영향으로 실제 평균 절삭력보다 작아지게 된다. 그래서 보다 현실적인 절삭력을 구하기 위해 전체 평균값은 기준값(Threshold)을 정하여 그 이상의 값들만 다시 평균값을 구해 유효값으로 하였다.

Fig. 11 ~ Fig. 13은 일반가공용 2날 엔드밀로 각각 8,000rpm,

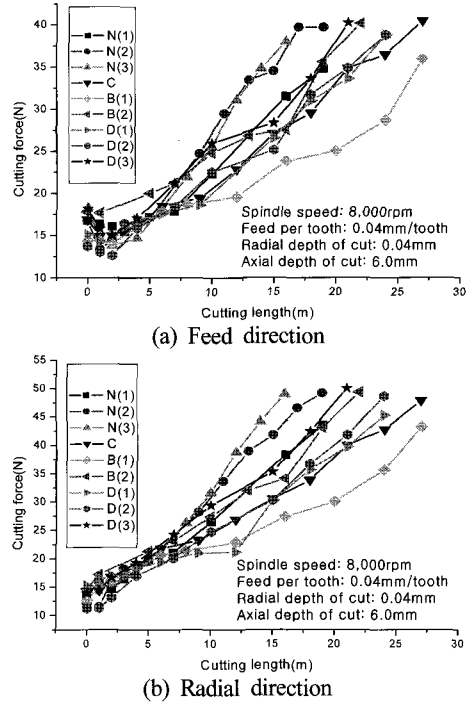


Fig. 11. Cutting force according to cutting length(8,000rpm)

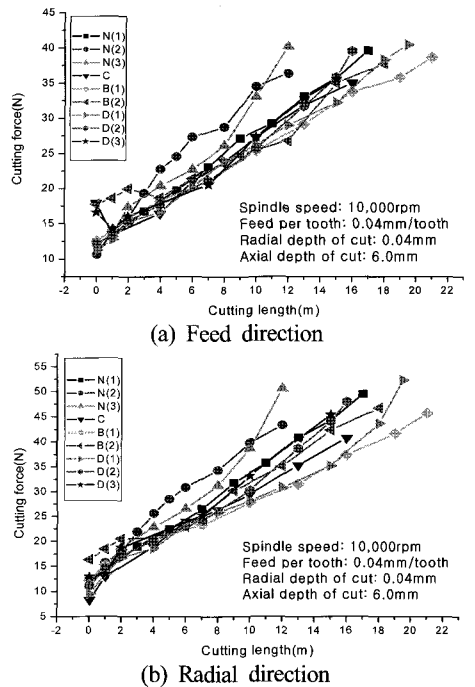
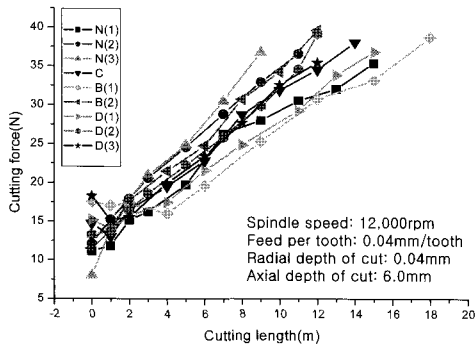


Fig. 12 Cutting force according to cutting length(10,000rpm)

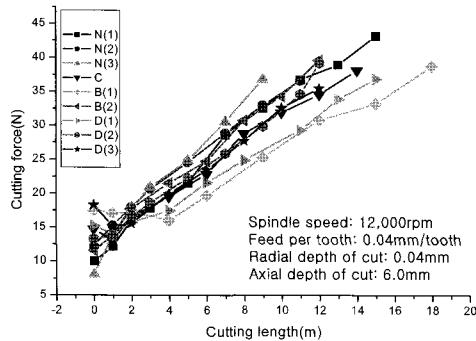
10,000rpm, 12,000rpm으로 공구마멸시편을 가공 했을때, 절삭거리에 따른 이송방향 절삭력과 반경방향 절삭력을 나타내었다. 가공 초기에 높은 평균절삭력이 나타나는 이유는 가공초기에 여러개의 날중에 1날만 절삭에 관여하기 때문에 나타나며, 이는 공구의 형상오차나 런아웃 현상 때문에 일어나는 것으로 보여진다. 그리고 이러한 신호는 공구의 마멸과 동시에 나머지 절삭날이 절삭에 참여하게 되면서 정상적인 절삭력을 나타내었다.

절삭거리에 따른 절삭력의 증가는 공구마멸이 정상적으로 일어나고 있다고 간접적으로 나타나고 있으며 Fig. 11의 N(2), N(3) 공구의 절삭력이 절삭거리에 비하여 높은 것을 나타내고 있는데, 이는 공구마멸 테스트 결과에서도 매우 짧은 공구 수명을 나타내었다. 이에 반하여 B(1) 공구의 절삭력은 가공기간 내내 낮은 절삭력을 보이며 공구마멸 결과에서도 가장 높은 공구수명을 나타내었다.

Table 4에 나타난 B(1) 공구의 기계적 특성에서도 밀도, 경도, 항절력, 미세조직, Co함유량, 입자크기가 다른 공구들에 비하여 상대적으로 좋은 결과를 보였던 만큼, B(1)공구의 높은 공구수명과 무관하지는 않을 것이다.



(a) Feed direction



(b) Radial direction

Fig. 13 Cutting force according to cutting length (10,000rpm)

4.2.3. 공구소재에 따른 표면조도의 특성

Fig. 14~16는 일반가공용으로 제작된 2날 플랫엔드밀의 공구마멸에 따른 평균 표면조도(R_a , μm)를 나타내었다. 가공 초기에 표면조도의 값이 일정치 않은 것은 공구형상 오차나 런아웃에 의한 비정상적인 공구마멸로 나타나는 현상으로 사료되며, 공구의 마멸이 진행됨에 따라서 표면조도의 값이 나빠짐을 알 수 있다. 하지만, 간혹 공구마멸의 정도에 따라서 가공면에 밀림이 생겨 표면조도가 일정치 않은 현상도 나타났는데, 이는 표면조도를 이용한 간접적인 공구마멸의 측정에 한계가 있다고 판단된다.

그래프에 나타난 표면조도의 특성은 일반적인 경향은 아니지만, Fig. 14의 D(2)공구와 Fig. 16의 N(2)공구가 가공면의 표면조도가 양호한 결과를 나타내었다.

비정상적인 마멸인 치핑과 칩배출의 문제는 공구의 표면에도 영향을 주어서 인선부에 칩이 배출되지 못하고 표면에 칩 마크(Chip mark)를 남기는데, 이는 가공물의 표면조도에도 영향을 줄 것으로 생각된다.

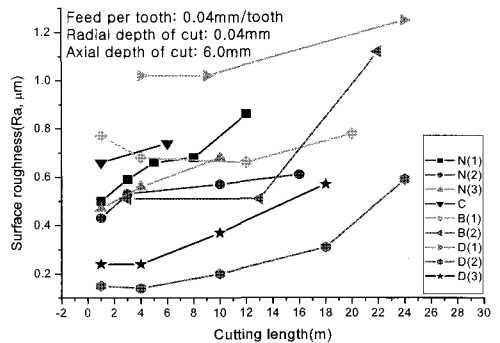


Fig. 14 Surface roughness according to cutting length (8,000rpm)

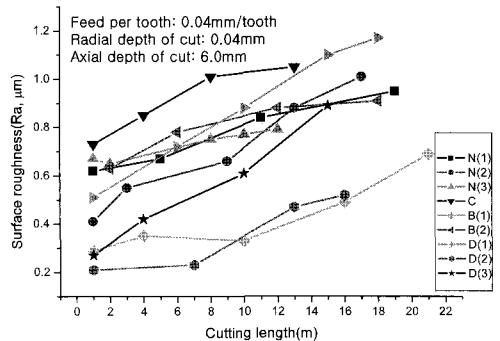


Fig. 15 Surface roughness according to cutting length (10,000rpm)

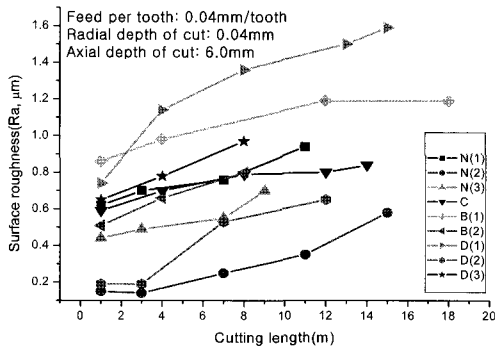


Fig. 16 Surface roughness according to cutting length (12,000rpm)

5. 결론

본 연구에서는 국내에서 생산된 초미립 초경소재와 해외에서 생산된 초경소재 및 초미립 초경소재로 각각 일반가공용 2날 플랫엔드밀과 고속가공용 4날 플랫엔드밀을 제작하여 가공성 평가를 실시한 결과는 다음과 같다.

- (1) 초경 공구재료의 경도는 동일한 Co 조성에서 주로 WC 입도에 직접적인 영향을 받으며, WC 입자가 크기가 미세할수록 증가한다. 또한, 동일한 입자 크기에서는 Co 함량이 적을수록 경도는 증가한다.
- (2) 균일한 WC 입도를 가진 초미립 초경소재 엔드밀 공구가 입도가 균일하지 못한 초경소재 엔드밀 공구보다 항절력이 우수하게 나타났으며, 입도가 균일하지 않은 초경소재 엔드밀보다 내치핑성이 우수하여 공구수명이 증가하였다.
- (3) 고속가공에서 고경도 소재의 가공시 공구수명은 초미립 초경소재로 제작한 엔드밀이 모두 우수한 결과를 나타내었고, 그중 Co함량이 9%일 때가 가장 높게 나타났다.
- (4) 입도가 균일한 초미립 초경소재로 제작한 엔드밀의 공구수명은 낮은 주축회전수보다 높은 주축회전수에서 상대적으로 공구수명이 증가하였다.
- (5) 초경소재 조직 내부의 Free carbon 같은 불순물은 가공시 절삭날에 치핑과 같은 비정상적인 공구마멸의 원인이 됨을 알 수 있었다.

따라서 입도가 균일한 초미립 초경분말로 제작한 초미립 초경소재 엔드밀 공구의 경도가 입도가 균일하지 못한 미립 초경소재 엔드밀 공구보다 우수하고, 초미립 초경소재로 제

작한 엔드밀 공구는 고속가공과 고경도 소재의 가공에 적합함을 알 수 있었다.

후기

본 연구는 2007년 산업자원부 부품·소재기술개발사업의 연구비 지원에 의해 수행되었으며, 이에 감사드립니다.

참고문헌

- (1) Spriggs, G. E., 1995, "A History of Fine Grained Hardmetal," *International Journal of Refractory Metals & Hard Materials*, Vol. 13, Issue 5, pp. 241~255.
- (2) Liu, S., Huang, Z. L., Liu, G. and Yang, G. B., 2006, "Preparing nano-crystalline rare earth doped WC/Co power by high energy ball milling," *International Journal of Refractory Metals & Hard Materials*, Vol. 24, Issue. 6, pp. 461~464.
- (3) Kang, I. S., Kang, M. C., Kim, J. S. and Kim, K. T., 2004, "Evaluation of Vibration Characteristics and Machinability of High Speed Machining Center," *Korean Society of Machine Tool Engineers Spring Conference*, pp. 424~429.
- (4) Kwon, D. H., 2002, *A Study on Synthesis and Sintering Behavior of Nanostructured WC/Co Composite Powders by Mechanochemical Process*, Ph. D. Dissertation, Gyeongsang National University.
- (5) D'Errico, G. E., Guglielmi, E. and Rutelli, G., 1999, "A study of coatings for end mills in high speed metal cutting," *Journal of Materials Processing Technology*, Vol. 92~93, pp. 251~256.
- (6) Kim, J. H., Moon, D. K., Lee, D. W., Kim, J. S., Kang, M. C. and Kim, K. H., 2002, "Tool wear measuring technique on the machining using CCD and exclusive jig," *Journal of Materials Processing Technology*, Vol. 130~131, pp. 668~674.
- (7) Chung, E., 1982, "A Study on the Hardness and Toughness of Cemented Carbides as a function of Microstructural Parameters," *Ulsan Institute of Technology. Report*, Vol. 13, No. 2, pp. 391~407.
- (8) Saito, H., Iwabuchi, A. and Shimizu, T., 2006, "Effects Co content and WC grain size on wear of WC cemented carbide," *Wear*, Vol. 261, Issue. 2, pp. 126~132.