韓國精密工學會 2001年度 秋季學術大會論文集 pp.865~869 KSPE 01F210

초미립 초경소재 개발을 통한 엔드밀 공구의 성능 평가

김홍규, 서정태(대구신소재), 권동현((주)하나정공), 김정석, 강명창(부산대학교 기계공학부)

Machinability Evaluation of Endmill Tool through Development of Ultra-fine Grain Grade Cemented Tungsten Carbide Material

H. G. Kim*, J. T. Seo*, D. H. Gweon**, J. S. Kim***, M. C. Kang***

ABSTRACT

In recent years, there has been increasing demand of ultra-fine grain graded cemented tungsten carbide material with high hardness and toughness which is used as high speed cutting tool for development in semiconductor, electronics and die/mold industry, which bring into limelight high-precision, high-efficient machining of sculptured surfaces. This paper deals with the performance of variation in the ultra-fine grain graded cemented tungsten carbide material such as grain size, hardness and density varied according to the volume of added elements, Co or TaC, and the changing of mixing, sintering process. Also, the performance of developing material with uniformed grain size of 0.5㎛ is compared with other domestics' & foreign companies' with analyzing and cutting performance testing.

Key Words : High Speed Cutting(고속가공), Ultra-Fine Grain Grade(초미립자), Grain Growth(입자 성장), Hardness(경도), Toughness(인성), Cemented Tungsten Carbide Material(초경소재)

1. 서론

최근 금형산업에서 가공능률 증대, 가공면의 표면품위 향상, 고정도의 가공물을 얻기 위해 고속가공기법이 산업전반에 널리 적용되고 있다. 그러나, 고속가공을 실현하기 위해서는 공작기계의 고속화, 고속절삭가공을 하기 위한 축 제어시스템, 최적 공구경로 설정, 절삭공구 등 많은 어려움이 있는데 그 중에서도 가장 문제시되는 것이 바로 절삭공구의 성능이다. 고속가공은 주로 경화된 금속을 절삭하는데, 이 경우 절삭속도의 증가와 함께 공구수명은 매우 짧아진다. 초경공구는 내마멸성이 우수하고 적당한 파단강도 때문에 금형가공에 적합하다.[1]

물론 고속가공용 공구로 사용되기 위해서는 날수, 경사각, 여유각 등도 기존의 공구와는 다르게 된다. 이들 중에서 가장 중요한 요소가 모재의 성능이다. 최근에는 이들이 사용되는 환경이 복잡해지면서 공구에 요구되는 조건이 복잡하고 다양화되어서 초경합금의 성능 향상이 절실히 요구되고 있다.[2]

초경합금(Cemented Carbide)은 일반적으로 WC 등의 탄화물 입자와 소량의 철족원소(Fe, Co, Ni) 등으로 구성되어 있으며, 분말 야금방법에 의해 제조하게 된다. 즉, 소결은 공정점(Eutectic Point) 이상의 온도에서 이루어지며, 이때 조직은 WC 분말이 결합금속(Binder Metal)에 의해 접합된(Cemented) 모양을 하고 있다. 결합금속은 주로 Co가 사용되며 WC 및 결합제의 비율과 WC 이외의 탄화물 첨가량에 따라 용도가 달라지게 된다.[3]

초경합금의 특성은 화학적 조성, WC 입자의 입도분포 및 합금중의 탄소량, 미세조직, 기공도, 이물질과 같은 결함 등에 의하여 영향을 받는다. 이중에서 특히 WC 입자의 크기와 텅스텐 카바이드입자 사이의 코발트 층의 두께(Mean Free Path)는 초경합금의 특성을 결정하는 가장 중요한 변수이다.[4]

따라서 본 연구에서는 탄화텅스텐(WC) 0.5㎛의 균일한 입도 분포와 동일한 코발트함량으로 상용되고 있는 초경제품에 비하여 경도값을 높이고 항절력을 향상시키기 위하여 배합과 소결공정을 다양화하여 제조 공정을 개선하고, 그 초경소재의 기계적 성질을 평가하였다. 또한 실제 절삭공구를 제작하여 성능평가를 실시하여 고속가공용 절삭공구에 적용하기 위한 초경소재의 기초기반 기술을 확립하고자 한다.

2. 초미립 초경소재의 제조공정과 특성

2.1 제조공정

초경합금의 제조공정은 통상적인 분말야금법에 의해 시행하였으며, 그 구성도는 Fig. 1에 나타내었다.

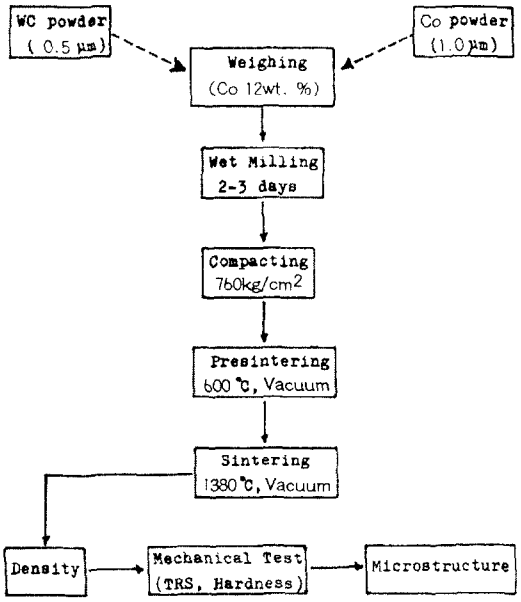


Fig. 1 Procedure for specimen preparation

2.1.1 혼합 및 건조

일반적으로 초경합금의 분말 혼합은 Ball-mill을 이용하여 습식으로 행해지고 있는데 이는 혼합 중에 마찰로 인하여 발생되는 열을 억제하며 분말들의 산화를 방지하는데 주목적이 있다. 본 실험에서는 내부의 벽(Wall)이 STS 304로 되어있고, 직경이 30cm, 체적이 약 90ℓ 인 원통형의 혼합기와 WC로 만들어진 구(Ball)를 사용하였다. 혼합 매개체로는 순도가 99.9%인 메탄올(Methanol)를 사용하였다.

WC와 Co분말은 필요 조성에 따라 0.1g까지 정량하였으며, 혼합기의 용적이 크므로 한번 혼합할 때마다 분말의 총량을 10kg으로 하였다. 혼합시간은 72시간이었고, 혼합기의 속도는 67~70rpm이었다.

혼합이 끝난 분말은 혼합매개체를 제거할 목적으로 건조과정을 거친다. 본 실험에서는 실온의 대기상태에서 교반기에 분말을 넣고 약 1시간 동안 건조를 실시하였다.

2.1.2 가압 성형

분말야금 제조시에는 주로 수동식 유압 압축기로서 가압 성형되고 있으며, 금형은 상하 펀치(Punch)에 의해 성형 압축이 행해진다. 본 실험에서의 성형압은 모든 시편에서 740kg/cm^{2}이었다.

2.1.3 예비소결

예비소결은 통상적으로 성형 윤활제를 제거하고 동시에 시편에 강도를 갖게 함으로써 취급을 용이하게 하는 것이 주목적이다. 본 실험에서의 예비소결은 진공로(Vacuum Furnace)를 사용하여 실시하였다. 시편을 평균 5℃/min 속도로 350℃까지 가열된 후 350℃에서 약 2시간 동안 유지하였다가 600℃에서 약 30분 동안 유지하였다가 냉각하였다.

2.1.4 소결 및 실험

본 실험에서 소결로는 진공로를 사용하여 실시하였다. 시편을 평균 10℃/min 속도로 1380℃까지 가열된 후 1380℃에서 약 30분 동안 유지하였다가 냉각되었다. 소결이 끝난 시험편은 기계적 성질시험에 용이하도록 시편번호를 표시한 다음 시험편은 국내에서 제작한 Resin Bonded Diamond Disc를 사용하여 18~30㎛, 8~15㎛ 순으로 재연삭과정을 거쳐 최종적으로 6㎛의 Diamond Paste를 Texmet 위에 골고루 바른 후 스펀들유를 사용하여 연마하였다.

2.2 초경합금의 기계적 성질

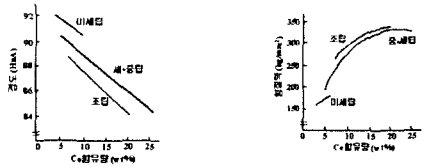
초경합금의 기계적성질은 탄화물입도, 결합상량, 탄소량, 결합상의 평균자유행로(Mean Free Path)등 미세조직 인자에 따라 변한다. 기계적 성질로서는 경도, 취성, 항절력, 압축강도, 인장강도, 충격강도, 탄성계수, 열팽창계수, 열전도도 등이 있는데, 이 중에서 가장 중요한 것은 경도, 항절력이다.

2.2.1 경도

초경합금의 경도(Hardness)는 탄화물의 입도 및 부피에 따라 변하게 된다. 경도측정은 HV(Vickers), H_RA(Rockwell A)를 주로 사용되며 초경합금의 경도 범위는 Fig. 2(a)와 같이 H_RA 83~93.5를 가진다.

2.2.2 항절력

항절력(Transverse Rupture Strength)은 보통 초경합금의 강도 측정치로 사용되지만 인성 또는 충격저항의 의미와는 다르다. 측정단위는 N/㎟의 값을 나타낸다. Fig. 2(b)는 코발트량, 텅스텐 카바이드의 평균입도에 따른 합금의 항절력의 변화를 나타낸다.



(a) Relationship between Co and hardness (b) Relationship between Co and TRS

Fig. 2 Mechanical Property of Cemented Carbide

3. 실험방법 및 장치

3.1 초경분말의 조성과 기계적 성질 측정

3.1.1 초경분말의 조성

본 실험에서의 WC분말은 중국 XIAME사의 GWC-05 제품으로서, 회사가 제시한 평균 입도는 0.5 ㎛, Scott 밀도는 23.9g/in^{3}이며, 입도분포는 Table 1과 같다. 코발트(Co)분말은 캐나다 UMEX사 제품이다.

Table 1 Particle Size Distribution of WC Powder

Paraticle size(㎛)	0 - 1	1 - 2	2 - 3	3 - 4	4 - 5
wt. %	91.3	6.3	2.4	0	0

3.1.2 기계적 성질 측정방법

초경시험편에 대해 밀도, 항절력, 경도 순으로 측정하였으며 마지막으로 미세조직을 관찰하였다.

밀도는 ASTM B311-58에 따라 공기 중에서의 무게와 물 속에서의 무게의 차이로부터 시편의 부피를 구하여 공기중의 무게를 시편의 부피로 나누어 구하였다. 이때 무게는 0.001g까지 측정하였다.

한편 항절력의 측정은 시편의 크기 및 측정장치가 ASTM과 JIS 규격이 서로 다르다. 본 실험에서는 JIS 규격을 따라 항절력을 측정하였다. 항절력 S(N/㎟)는 JIS 및 ASTM규격에서 명시된 식 (1)에 의해 구하였다.

$$s = \frac{3pl}{2bt^2} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (1)$$

여기서 b : 시편의 폭(mm), t : 시편의 두께(mm), p : 하중(N), l : 지지봉간의 거리(본 실험 20mm)

경도측정은 ASTM B294 규격에 따라 예비하중이 10kg이고 총 하중이 60kg인 로크웰(Rockwell) A scale로 측정하였다. 미세조직은 0~1/2㎛의 Diamond 분말과 Spindle Oil을 혼합하여 이를 Texmet에 바른 뒤 폴리싱하였다. 부식은 $K_3Fe(cn)_6$, KOH나 NaOH 10g을 증류수 100cc에 용해한 일명 Murakam 1번 용액으로 3~4분간 시켰다. 이와 같이 부식시킨 시편을 "Karl Zeiss" 광학현미경으로 미세구조를 1000배로 확대하여 관찰하였다.

3.2 공구성능 평가 장치 및 방법

3.2.1. 실험장치

Fig. 3은 본 실험에 사용된 실험장치도이다. 최대 주축회전수가 20,000rpm인 수직형 머시닝센터(Makino V-55)를 이용하여, 고주파수 응답 특성을 가진 압전형 공구동력계를 이용하여 절삭력의 특성을 조사하였으며, 이를 통해 공구마멸과 표면조도와의 상관관계를 조사하여 공구성능을 평가하였다.

절삭력을 측정하는 공구동력계는 수정의 압전효과를 이용한 압전형 힘센서(Kistler사, Type : 9251A)를 사용해 자체 제작된 것을 사용하였고, 공구마멸은 공구의 런아웃을 줄이기 위하여 장착된 상태에서 CCD 카메라를 이용하여 측정하였다. 표면조도는 분해능이 10nm인 스타일러식 표면조도 측정기를 사용하였다. 공작물은 Fig. 4에서 열간 단조용 금형강(STD61, H_RC 62)에 대해 가공성을 평가하였다.

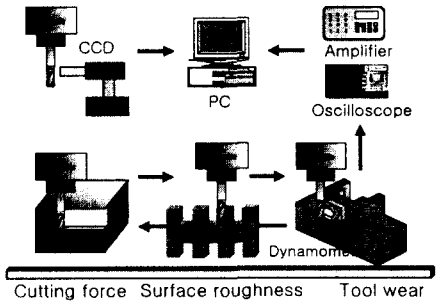
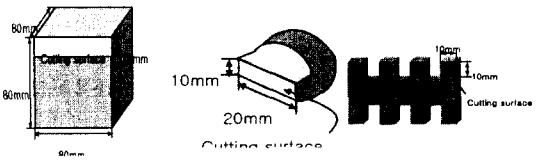


Fig. 3 Experimental Setup



(a) Tool wear (b) Cutting Force (c) Roughness

Fig. 4 Workpiece Shape for Machinability Evaluation

3.2.2 실험 방법

공구의 소재에 대한 그 성능평가를 함에 있어 가장 유효한 것이 공구의 수명이다. 공구의 수명은 절삭력과 밀접한 관계가 있으므로 본 실험에서는 절삭길이에 따라 공구 마멸량을 측정하고, 공구마멸 시까지 절삭력을 획득하여 가공시 공구에 걸리는 부하를 측정하여 공구형상의 특성을 파악하고자 하였다.

Table 2에서와 같이 고속가공기의 안정성을 확인하고 절삭조건을 선정하였다. 공구 소재는 자사, 외국A사, 국내A사를 비교분석하기 위해 동일형상의 4날 평엔드밀(Flat End-Mill)을 사용하였다. 선정된 절삭조건하에서 공구 소재의 특성을 파악하기 위해서 일정가공길이(0.8m)마다 절삭력과 칩을 획득하고 공구마멸 형상을 촬영했으며, 마멸량을 측정하였다. 공작물의 표면조도를 관찰하여 절삭성을 파악하였다.

Table 2 Cutting Conditions

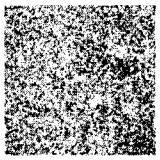
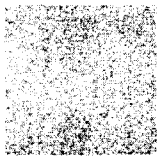
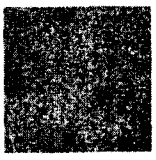
Cutting Fluid	Spindle revolution S (rpm)	Depth of cut d(mm)	Feed per tooth Fz(mm/tooth)
Air	12,000	0.06	0.05

4. 실험결과 및 고찰

4.1 초미립초경소재의 특성

0.5㎛ WC 초미립자와 12% Co 조성에서 Table 3과 같은 물성치를 얻었다.

Table 3 Microscope Structure of Specimen

자사 0.5㎛	외국A사 0.5㎛(44UF)	국내 A사 0.6㎛
		

외국A사의 엔드밀 초경모재 분석 결과는 밀도 14.16g/cm^3, 경도 92.8(H_RA), 항절력 370kg/mm^2, Co 12%로 물성치는 비교적 양호하다.

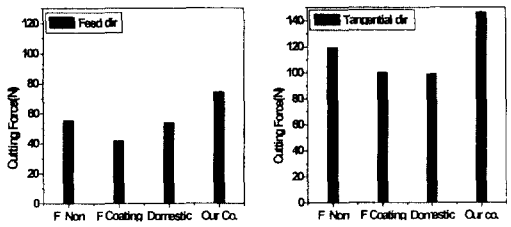
국내A사의 엔드밀 초경모재 분석 결과는 밀도 14.10g/cm^3, 경도(H_RA) 91.9, 항절력 350kg/mm^2, WC 0.6㎛에 TaC 1%를 첨가하였으나, 입자오염 및 성장이 많이 일어났고, Co-pool이 약간씩 관찰되고 코발트 14%내외로 조성되어 있다.

자사의 초경모재 분석결과는 밀도 14.13g/cm^3, 경도(H_RA) 93.5, 항절력 366kg/mm^2, Co 12%, VC 0.2%, Cr 0.5%의 물성치로 비교적 양호한 성질을 보인다.

4.2 공구의 성능평가 결과

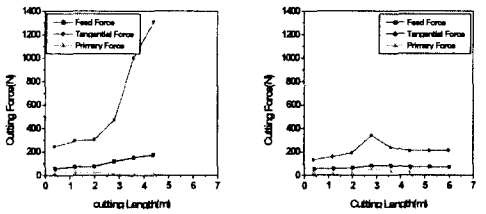
4.2.1 절삭력 특성

Fig. 5에서는 각각의 공구에 대해 초기 절삭력을 측정한 결과를 나타내고 있다. 자사소재의 공구가 각 분력 방향의 절삭력이 모두다 크게 나오는데 비해서, Fig. 6에서 자사소재 공구는 외국A사 공구를 제외한 나머지 공구보다는 안정된 절삭력 증가를 보이고있다. 이는 공구소재의 균일 혼합으로 공구 전부분에 안정된 절삭력이 걸리는 것으로 사료된다.

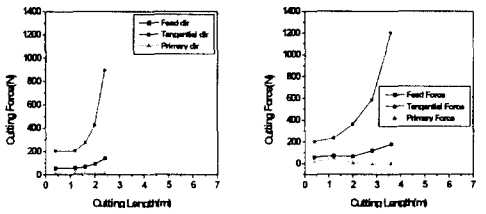


(a) Feed Force (b) Tangential Force

Fig. 5 Cutting Force of New Tool



(a) Foriegn A Non-Coating (b) Foriegn A Coating



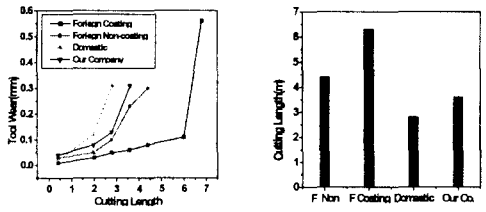
(c) Domestic A (d) Our company

Fig. 6 Cutting Force according to Each Material

4.2.2 공구마멸 특성

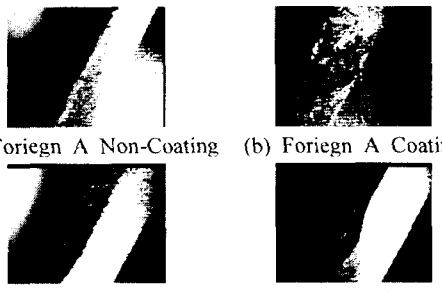
Fig. 7은 절삭거리에 따른 공구마멸을 나타내고 있다. 타사 공구와 비교시 자사소재 공구는 절삭거리는 짧으나 공구마멸 패턴이 다른 공구에 비해 안정적이고, 공구수명은 외국회사의 공구에 비해서 1~3m 정도 떨어지나 국내회사에 비해서 1m정도 길게 측정되었다.

Fig. 8은 여유면 마멸 0.3mm 일 때의 공구형상에 있어서 마멸패턴을 보여주고 있다.



(a) Tool Wear according to Cutting Length (b) Tool Life according to Material

Fig. 7 Character of Tool Wear



(a) Foriegn A Non-Coating (b) Foriegn A Coating

(c) Our company (d) Domestic A

Fig. 8 Tool Shape accoriding to Tool Wear

4.2.3 칩의 형태

공구와 공작물의 상대운동으로 발생하는 칩은 가공성 평가에 유용한 정보를 제공한다. 공구마멸이 진행될수록 Fig. 9와 같이 칩의 형태가 변화하였다. 절삭초기에는 가늘고 긴 유동형 칩이 배출되다가 공구가 마멸되면 공구 절삭날부의 국부적인 마멸과 고온의 절삭열에 의하여 단속형 칩들이 부채꼴 형태로 배출되었다. 이런 현상은 모든 공구에서 동일하게 나타났다. 실험결과 가공시 배출되는 칩의 형태만 보더라고 어느 정도 공구의 마멸정도를 예측할 수 있었다.

(a) 0.8m (b) 3.1m

Fig. 9 Chip Shape according to Cutting Length

4.2.4 표면조도 특성

Fig. 10은 공구마멸에 따른 표면조도를 나타내었다. 절삭길이가 증가함에 따라 중심선 평균 거칠기(Ra)값이 증가하는데 이는 공구마멸의 영향으로 볼 수 있다. 공구가 마멸되면 더 큰 절삭력이 작용하고 또 이는 표면형상에 그대로 나타나게 되어 앞서 절삭력이 급격히 증가하는 공구마멸 0.1mm 이후 표면거칠기도 역시 급격히 나빠지는 경향을 볼 수 있다.

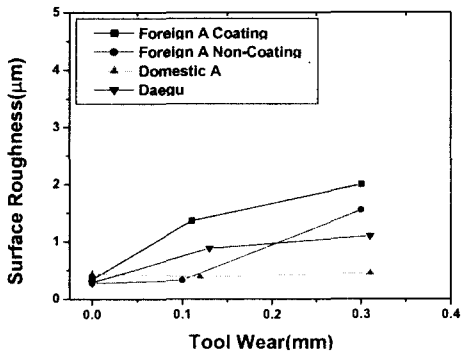


Fig. 10 Surface Roughness accoriding to Tool Wear

5. 결론

고속가공용 초경소재의 개발을 통해 절삭공구의 가공성을 평가하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

1) WC와 Co(12%), VC(0.2%), Cr(0.5%) 조성의 시편을 진공상태에서 소결하였을 때 이들의 밀도, 경도, 그리고 항절력을 측정하였다. 실험결과는 경도(H_RA 93.5), 밀도 14.13g/cm^3 , 항절력 366kg/mm^2 의 물성치를 나타내었으며, 조직의 분포특성은 외국A사와 비교시 자사소재 공구 물성치와 거의 비슷한 값을 나타냈다.

2) 자사소재 공구의 초기 절삭력은 외국A사, 국내A사에 비해 3분력 모두 약 20~30N정도 크게 나왔으나, 절삭거리 증가에 따른 절삭력은 비교적 안정적인 패턴을 보이고 있다.

3) 공구마멸에 따른 각 공구간의 공구수명을 비교해 보면 자사소재 공구는 외국A사보다 약 10%정도 작게 나왔고, 국내A사보다 약 10%정도 크게 나왔다. 공구마멸에 의해 칩의 형태는 유동형 칩이 배출되다가 단속형 칩들이 부채꼴 형태로 배출되었고, 이에 따라 표면조도도 공구마멸 후기에는 급격히 나빠지는 경향을 보이고 있다. 표면조도는 자사소재 공구가 외국A사보다 약 30~40%정도 양호하게 나왔으며, 국내A사에 비해서는 약 30%정도 나쁘게 나왔다.

이와 같은 연구결과를 토대로, 향후 초미립 초경소재로서 충분한 항절력과 경도를 가지면서 적절한 조성의 배합을 행하여 고온에서 내열성을 높일 수 있는 고속가공용 공구소재를 개발하고자 한다.

후기

본 연구는 2001년 부산경남 자동차 테크노센터 연구개발과제에 의해 수행되었음.

참고문헌

1. T. Moriwaki, "High Speed Machining", CIRP, Vol.41, 1992
2. M. C. Kang, D. W. Lee, J. S. Kim, "A Study on The High Speed Interrupted Machining of High Hardened Material using Newly Developed Tool Dynamometer", ICPE 97, pp262-268, 1997
3. W. Maritzen, Powder Metallurgy International 17. 68, 1985
4. E. Lardner, Power Metall. 21 : 65., 1978