

# 고온가공기법을 이용한 초경소재 가공기술

이채문\*, 이득우+, 정우섭\*\*, 김상기\*\*

## Cutting method of tungsten carbide material using hot machining

C.M Lee\*, D.W Lee+, W.S Jung\*\*, S.K Kim\*\*

### Abstract

The Advantages of hot machining are the reduction of cutting forces, tool wear, and the increase of material removal rates. In this study, a hot-machining using gas flame heating characteristics of milling by CBN tip was analyzed, and the influence of the surface temperature and the depth of cut on the tool life were investigated. The results show that hot machining of tungsten carbide-alloyed is more effective than conventional machining. In addition, some advantages obtained from hot machining, such as decrease of tool wear and cutting force, high surface quality.

**Key Words :** Tungsten carbide(초경소재), Hot machining(고온가공), Difficult-to-cut material(난삭재), Gas flame heating (불꽃가열)

## 1. 서론

최근 금속산업의 발달로 난삭재에 대한 사용이 증대함에 따라 금형가공업체나 기계가공업체에서는 가공시간의 단축, 가공정밀도의 향상, 제조원가의 절감 등을 위하여 난삭재를 가공할 수 있는 새로운 절삭방법이 요구되어 왔고, 이러한 필요성에 의하여 다이아몬드 연삭가공이나 방전가공의 특수한 가공법이 개발되어짐으로써 난삭재의 절삭가공이 가능해지게 되었다. 초경합금은 코발트(cobalt)내에, 텅스텐 카바이드가 복합적으로 결합되어 합성되어진 물질을 말하며 초경합금의 특징은 고온 열 변형이 적으며, 내마모성이 우수하고 압축에 강하며, 고 수명을 가진다는 것이다. 최근에는 초경소재의 가장 큰 단점이었던 깨짐이 적은 제품이 등장함에 따라 공구재 뿐만 아니라 금형의 재료로도 많이 사용되고 있다. 초경소재는 고경도(HRc 70~80)로써 현재 방전, 다이아몬드 연삭가공 등으로만 가공되고 있는 상태이다.

하지만 이러한 가공기술들은 값비싼 공구소재와 특수가공기를 사용함에도 불구하고 오랜 가공시간과 재현성이 없다는 단점으로 생산성이 저하되고 있는 것이 현실이다. 하지만 최근 초경소재의 활용은 프레스 금형용 초경부품 반도체 (IC) 및 절단용 금형부품 (포트, 플런저, 타이바 컷 펀치 및 다이) 등에 쓰이고 있다. 텅스텐 카바이드(WC)의 경우 일반적으로 400 - 600℃를 전후로 경도가 급격하게 떨어지며 초경소재 또한 600℃ 부근에서 연성화가 일어나므로써 소재의 경도가 HRc 50정도로 떨어지는 것으로 알려져 있으며, HRc 50 정도의 경도는 충분히 절삭가공이 가능할 것으로 판단된다. 따라서 본 논문에서는 고경도의 초경소재를 고온가공기법을 이용하여 초경소재의 경도를 어느 정도 낮추어 단속절삭을 통한 가공을 수행하였으며 공구수명, 표면품질, 가공능률의 측면에서 본 가공기법을 평가하였다.

\* 발표자, 부산대학교 정밀기계대학과 (cmlee1971@pusan.ac.kr)  
주소: 609-735 부산시 금정구 장전동 산30  
+ 부산대 나노과학기술학부  
++ 테크맥(주)

## 2. 고온가공기법의 원리

고온가공의 원리는 소재의 연성화를 통해 절삭을 쉽고 빠르게 하기 위함이고 최근에는 난삭재의 하나인 경취성 재료의 절삭을 위해 연구되어지고 있다. 고온가공은 상온에서는 절삭하기 어려운 단단한 금속재료를 가열하여 어느 정도 연화된 다음 절삭하는 절삭법이다. 주로 내열재료의 절삭에 응용된다. 고온에서는 피삭재가 연화되고 경도도 저하되며, 전단강도도 감소한다. 따라서 절삭하기가 쉬워지며 공구의 마멸을 감소시킬 수 있다. 그러나 피삭재를 가열하면 공구의 날 끝 온도가 상승하여 절삭능력이 떨어지므로 피삭재와 공구의 형질에 따라 적당한 온도를 정해야 한다. 고온가공은 공구수명의 향상이나 가공속도의 향상을 통해 궁극적으로 생산성 향상을 목적으로 하는 것이며 일반적인 가공방법과 비교해 새로이 시도되는 가공법이다. 고온가공의 장점으로서는 (1) 피삭재의 연성화에 의한 공구의 마멸 감소 (2) 기존의 가공성에 비해 가공속도가 향상되어 전체적인 생산시간 단축 (3) 상온에서의 가공에 비해 표면의 정도 향상 (4) 별도의 윤활, 냉각장치가 필요치 않아 환경친화적 절삭가공 가능 (5) 가공이 어려운 경취성 재료에 대한 가공이 가능 등이 있으며 고온가공의 단점으로는 (1) 피삭재 연성화 온도로 가열하는데 소재에 따라 어느 정도 시간 소요 (2) 피삭재를 가열시 소재의 연성화 가열온도를 일정하게 제어 곤란 (3) 피삭재를 재결정온도 이상으로 가열했을 경우 피삭재의 구조적 변형과 소재의 성질(경도, 표면 거칠기) 등이 달라지는 등의 단점을 가지고 있다. Fig.1은 다양한 강 소재에 대해 고온가공을 이용한 드릴가공시의 절삭력 데이터이다. 아래의 그림에서 알 수 있듯이 강의 경우 약 150°C - 200°C 사이에서 절삭력이 가장 저하되는 것을 볼 수 있다.

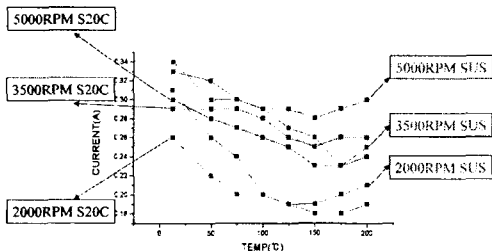


Fig. 1 Spindle Motor Current According to High Temperature for Various Steel

기존의 초경합금의 절삭방법인 방전가공과 고온가공의 차이점을 비교하여보면 아래의 Table. 1과 같다. 방전가공

에서는 전극가공, 가공 후 공정 등이 필요하며 방전가공 자체로도 상당한 가공시간을 필요로 한다. 반면에 일반적인 단속절삭과 고온가공을 응용한 가공공정에서는 절삭공정만이 필요하면 가공시간 또한 상당히 단축되는 것을 알 수 있다. 물론 기술자의 숙련도에 따라 달라질 수는 있지만 일반적인 경우를 비교하여 보았을 때 소작업장에서 초경합금과 같은 고경도 경취성 재료의 절삭에 있어서는 고온가공을 사용함으로써 이와 같은 난삭재의 가공작업이 가능해지며 일의 능률과 생산성의 측면에서도 결코 특수가공(방전가공)에 뒤지지 않음을 알 수 있다.

Table. 1 Electro-discharge Machining vs Hot Machining Against Machining of Tungsten carbide-alloyed

	Electro-discharge Machining	Hot Machining
Machine	Electro-discharge Machine	Machining Center
Cutting Time (W13xL18mm)	5 hr.	4 hr.
Tool	Electrode (6EA)	CBN Tip (2EA)
Tool Making	6 hr. (1EA, 1hr.)	None
Operator	Need Expert	None Expert
After Machining	Need Grinding and Polishing	None
Reproduction	None Available	Available

## 3. 실험 장치 및 실험 방법

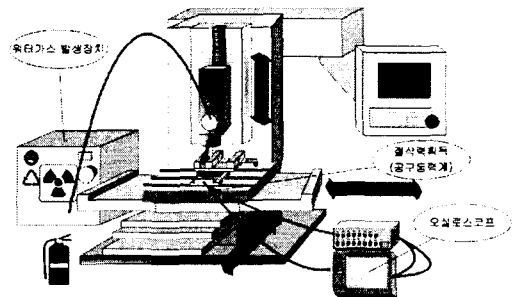


Fig. 2 Schematic Representation of Experimental Design for Hot Machining

본 연구에서는 CBN 팁 공구로 초경소재 금형강의 가공시 가열온도 변화에 따른 절삭특성 및 마멸특성에 대해서 실험하였다. 공작기계로는 머시닝센터(화천기계, ECOMIL 43V)가 사용되었으며 절삭력의 측정을 위하여 압전형 공구

동력계(Kistler, 9257B)를 사용하였다. 또한 초경소재를 국부적으로 가열하기 위하여 가스토치와 워터가스 발생장치로 구성된 가열시스템을 제작하였다. 온도측정은 적외선 온도측정기와 열전대를 통해 측정하였다. Fig.2는 실험 장치를 나타낸 것이다. 워터가스 발생기와 가스토치로 구성된 가열시스템을 이용하여 가공 될 시편의 일부분을 가열하고 CBN 팁이 장착된 공구를 이용하여 절삭을 수행하여 절삭력, 시편의 표면, 공구 마멸 등을 측정하였다.

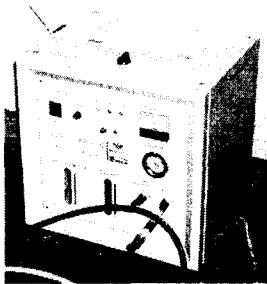


Fig. 3 Oxy-Hydrogen Gas Generator

가열시스템은 가스 불꽃을 이용하였으며 불꽃은 토치(Micro torch number 25)에 의해 가열부에 분사되었다. 토치와 공작물간의 간격은 약 10mm 정도였으며 공구에 직접 열이 전달되는 것을 최대한 방지하였다. 본 연구에서 제작된 가열시스템은 물을 전기분해하여 수소를 물에 첨가함으로써 얻어지는 워터가스(브라운가스)와 메틸알코올의 혼합물을 이용하여 불꽃을 생성하였으며 액체 워터가스와 메틸알코올의 유량을 각각 500 l/h 과 30 l/h 정도의 비율로 유지하였다. Fig.3은 워터가스 발생장치 사진이다.

Table.2 Experimental conditions

Machining Parameters	
Workpiece	WC+CO(10%)
Cutting Tool	CBN Tip $\phi$ 25(BN 200)
Operation	Down milling
Tool Overhang	30 mm
Spindle Speed	1500 rpm
Feed Rate	80mm/min
Depth of cut	0.1mm(Y direction) 0.05mm(Z direction)
Cutting Environment	Dry, Hot Machining
Temperature	0~400 $^{\circ}$ C

Table. 2는 본 논문의 실험조건을 나타낸 것이다. 피삭재는 10%코발트가 포함된 초경이며, 공구는 인서트 타입의 CBN 팁을 사용하였다. 모든 가공은 하향절삭으로 수행되었으며, 소재는 상온에서 400 $^{\circ}$ C 까지 가열되었다. 또한 시편을 균일하게 가열하기 위해 가열시스템을 통한 시편의 가열정도를 미리 파악하여 이송속도를 설정하였다.

#### 4. 실험 결과

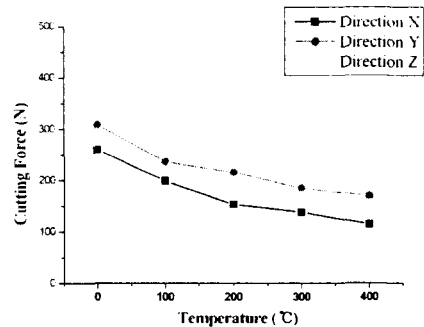
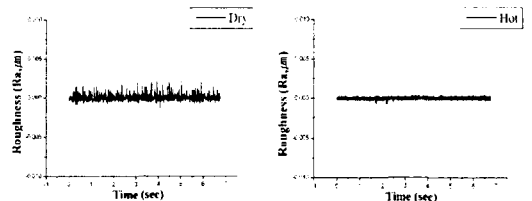
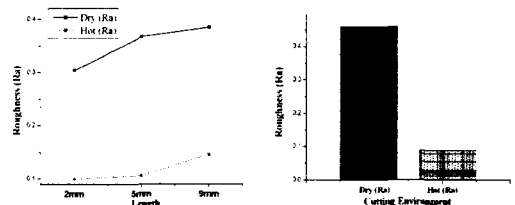


Fig. 4 Cutting Force According to Temperature



(a) Raw signal at room and 400 $^{\circ}$ C



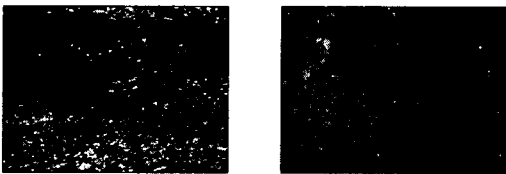
(b) Feed and pickfeed direction

Fig. 5 Surface roughness against dry and hot machining

Fig. 4는 상온, 100 $^{\circ}$ C, 200 $^{\circ}$ C, 300 $^{\circ}$ C, 400 $^{\circ}$ C로 소재를 가열했을 때 측정된 X, Y, Z 방향에서의 절삭력을 비교한 것이다. 그림에서 알 수 있듯이 피삭재의 온도가 상승함에 따라 절삭력이 감소한다. 물론 400 $^{\circ}$ C 이상에서 더 낮은 절삭력을 획득할 수 있지만 국부적인 가공에서 자동시스템을 시도하고자 할 때 400 $^{\circ}$ C 이상의 온도상승은 시편을 일정한

도까지 가열하는데 더 많은 시간이 소요되며 이는 곧 이송 속도의 감소를 의미하므로 총생산시간에 좋지 않은 영향을 준다. 또한 400℃에서 절삭 시 공구에 응착의 발생이 측정되므로 이 이상의 온도상승은 바람직하지 않다고 생각한다. Fig. 5(a)는 상온과 400℃에서 가공된 시편의 표면 거칠기(Ra)를 시편의 Y축으로 2mm되는 지점에서 측정한 원신호를 나타낸 것이다. 400℃와 상온의 표면 거칠기의 차이는 약 3배 이상 400℃에서 좋은 것으로 나타났으며, 이는 가열로 인해 소재가 연성화 되어 절삭력이 감소하고 이로 인해 절삭 중 발생하는 진동이 감소되어 결과적으로 공구의 마멸이 줄어들고 또한 일정한 공구의 마멸을 통하여 소재의 절삭이 원활히 이루어져 표면의 정도가 향상되는 것으로 생각된다. Fig. 5(b)는 소재의 절삭초반부(Y축 2mm), 중반부(Y축 5mm), 와 후반부(Y축 9mm)에서의 표면 거칠기를 상온가공과 고온가공(400℃)에서의 값을 이송방향에서 측정한 그래프(a)와 피크피드 방향으로 측정한 표면거칠기 그래프(b)이다. 절삭이 진행될수록 거칠기 또한 나빠지는데 이는 공구의 마멸이 증가함으로써 나타나는 현상이다. 피드 방향에서의 표면상태는 상온과 고온(400℃)에서의 거칠기 차이가 약 3배정도 고온가공이 우수한 것으로 나타났다. 피크피드 방향에서의 거칠기(b) 또한 상온가공에서 약 0.4597 $\mu$ m, 고온(400℃)가공에서 약 0.0891 $\mu$ m 로 측정되어 상당한 차이를 보였다.

Fig. 6은 표면 형상을 공구현미경을 통하여 획득한 사진이다. 앞선 거칠기 결과와 동일하게 상온가공에서의 소재의 표면보다 고온가공에서의 표면이 보다 매끄럽고, 우수하다는 것을 알 수 있다.



(a) Dry (b) Hot (400℃)

Fig. 6 Machined Surface (Depth : 0.05mm, X400)

Fig. 7은 절삭 길이가 125cm에서 생긴 이상 치핑을 배제한 정상적인 마멸의 양을 비교한 그래프이다. 초기치핑 외의 공구마멸을 측정한 결과 절입의 양이 적은 상온(0.04mm 절입)에서는 상온(0.05mm 절입)보다 약 15% 공구수명의 향상이 있었고 고온가공에서는(0.05mm 절입) 상온(0.05mm 절입)보다 역시 50% 공구수명의 향상을 볼 수가 있었다.

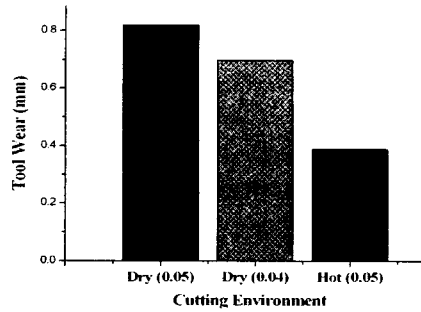
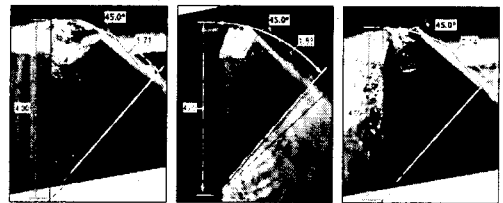


Fig. 7 Chipping at 125cm Cutting Length

Fig. 8은 위의 그래프에서 도시한 공구마멸의 정도를 측정한 실제공구의 사진이다. 전체적인 마멸과 시편의 표면 거칠기 등을 종합적으로 비교해 볼 때 공구의 CBN 팁부의 마멸량이 약 1mm가 되었을 경우 공구수명이 다한 것으로 보았다.



(a) Dry (0.05mm) (b) Dry (0.04mm) (c) Hot (0.05mm)

Fig. 8 Photos at 125cm Cutting Length

특히 불꽃가열의 경우 불꽃이 시편에 닿아서 번지는 효과에 의해 셋팅 시 공구에 토치를 너무 가깝게 설치하면 공구에 불꽃이 닿는 경우가 발생하는데 이 같은 경우 CBN 공구의 소결부의 결합력이 떨어져 공구가 탈락할 경우가 생기게 된다. 본 연구에서 이러한 문제를 해결하기위해 앞에서 설명한 바 있는 워터가스 발생기를 사용하였는데 그 특징 중 응축의 성질과 핀 포인트의 성질은 불꽃이 분산되는 것을 막아주며 다른 기기에 열이 확산되는 것도 상당히 감소시킬 수 있다.

## 5. 결론

고온가공기법을 도입한 초경소재 가공기술에 대한 연구 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 고온가공 가열 시스템을 제작하여 초경소재가공에 대한 새로운 가공방법을 시도하였다.
- 2) 초경소재의 고온가공 절삭시 획득한 절삭력의 측정결과

고온가공에서 전체적으로 상온가공보다 약 50% 이상 절삭력이 감소하는 것으로 확인되었다. 또한 소재의 고온가공 절삭공정이 가능한 연성화 온도(400℃)를 제시하였다.

3) 공구마멸 측정결과 상온가공에 비해 고온가공의 공구수명이 약 50% 증가하였고 소재의 표면 거칠기 측정결과 약 3배 정도 향상되었다.

4) 가공 후 소재의 변형량과 경도측정결과 400℃의 고온가공에서는 소재의 변화가 없었다.

일반적인 머시닝센터에서 고온가공을 이용한 절삭가공 공정은 분명 쉽게 응용될 수 있는 기술은 아니다. 시편의 설치 시에는 작업자의 수작업이 상당부분 필요하며, 따라서 시편 설치 전에 시편을 가열시키는데 문제가 발생할 수 있으며, 시편의 크기에 따라 가열시간이 달라지는 문제도 생길 것이다. 또한 가열에 의해 발생한 열로 인한 동작기계의 손상과 같은 문제도 발생하게 될 것이다. 하지만, 자동화되고 규격화 된 대량생산 시스템에서의 드릴 공정과 같은 단순 가공 공정에서는 충분히 활용될 수 있을 것으로 사료된다. 본 논문에서는 일반적인 가공공정에서 상당히 제한되는 소재의 가공에 응용하기 위해 고온가공을 이용한 가공기술에 대하여 연구하였다.

## 참 고 문 헌

- (1) Goldenberg, A. A., and Bezerghi, A., 1985, "A Preview Approach to Force Control of Robot Manipulators," *Mechanism and Machine Theory*, Vol. 20, No. 5, pp. 449~464.
- (1) Kitagawa, T., Meakawa, K., and Kubo, A., 1988, "Plasma hot machining for high hardness metal", *Japan Society for Precision Engineering*, Vol. 22, No. 2, pp. 145~151.
- (2) Ozler, L., Inan, A., and Ozel, C., 2001, "Theoretical and experimental determination of tool life in hot machining of austenitic manganese steel", *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, Vol. 41, pp. 163~172.
- (3) Wardany, T.I., Mohammed, E., and Elbestawi, M.A., 1996, "Cutting Temperature of Ceramic Tools in High Speed Machining of Difficult-to-cut Materials", *Int. J. Mach. Tools*

*Manufact.*, Vol. 36, No. 5, pp. 611~634.

- (4) Uehara, K., Takeshta, H., 1986, "Cutting Ceramics with a Technique of Hot Machining", *Annals of the CIRP*, Vol. 35, No. 1, pp. 55~58.