

# 초음파타원진동절삭가공법에 의한 Co-Cr-Mo 합금의 경면절삭 Machining Mirror Surface of Co-Cr-Mo Alloy by Ultrasonic Elliptical Vibration Cutting Method

\*\*송영찬<sup>1</sup>, 田中健一<sup>2</sup>, 森脇俊道<sup>2</sup>

\*\*Y. C. Song(ycsong@kimm.re.kr)<sup>1</sup>, K. Tanaka<sup>2</sup>, T. Moriwaki<sup>2</sup>

<sup>1</sup> 한국기계연구원 지능기계연구센터, <sup>2</sup> 고베대학 기계공학과

Key words : Ultrasonic elliptical vibration cutting, Co-Cr-Mo alloy, Mirror surface

## 1. 서론

인공관절치환술은 금세기의 정형외과의 위대한 발전중의 하나이다. 이것은 영국 정형외과 의사인 존 찬리가 1961년에 오늘날 사용되는 인공고관절을 개발한 뒤 급속한 발전을 이루어 오고 있다. 이 수술법은 관절염에 의한 손상된 인체의 관절부위를 제거시키고 인공 금속물질로 바꿔주는 것으로, 현재 전세계적으로는 50만개의 관절 치환 수술이 시행되어지고 있다. 인공관절용 재질로는 과거엔 스테인레스가 주종이었으나 근래에는 Co-Cr-Mo 합금이나 티타늄합금, 세라믹 또는 의료용 플라스틱 등으로 다양하고 눈부신 발전을 거듭하고 있다<sup>1)</sup>. 스테인레스는 가공성은 우수하나 생체적합성이 떨어지며, 티타늄은 내부식성이 강하지만 내마모성과 피로특성이 떨어진다. 한편, Co-Cr-Mo 합금은 생체적합성이 우수하며, 피로특성이 티타늄보다 우수하여 많이 사용되고 있다. 또한, 관절면은 높은 경도의 재료가 서로 접촉하게 되므로 마모되기 쉬우며, 인공관절 환자 중에는 수년후 마모로 인해 재치환수술을 하게 되는 경우가 발생한다. 인공관절의 내마모성을 향상시키기 위하여 높은 표면정도가 필요하며, 따라서 인공관절 접동면의 경면가공이 요구된다. Co-Cr-Mo 합금을 다이아몬드공구에 의한 초정밀절삭을 할 경우 공구날끝의 마이크로 칩핑현상이 발생하기 때문에 안정된 경면가공이 곤란하여 일반절로 연삭가공이 이용되고 있다.

본 연구에서는 지금까지 각종 난삭재료에 대하여 단결정다이아몬드공구를 사용한 초정밀절삭가공을 실현한 초음파타원진동절삭가공법<sup>2)</sup>을 이용하여 Co-Cr-Mo 합금의 경면가공을 시도하였다.

## 2. 초음파타원진동절삭가공법

타원진동절삭가공법은 Fig. 1에 제시한 것처럼 공구날에 원 또는 타원진동을 부가하여 단속적인 절삭을 행한다. 공구진동 1주기에 있어서, 칩 생성시에는 공구가 주로 칩 유출방향 속도를 가지며 공구진동속도가 칩유출속도보다 빠르게 되므로, 마찰력의 방향이 반전되어 칩을 끌어올리면서 가공을 행하게 된다. 보통절삭에서는 절삭유의 사용 등의 방법에 의해 공구 경사면과 칩 사이의 마찰력을 감소시키고자 하지만, 본 가공법은 이 마찰력을 역으로 이용하는 적극적인 절삭가공법이다. 그 결과 전단각이 증가하며, 칩두께, 절삭저항 등이 크게 감소된다.

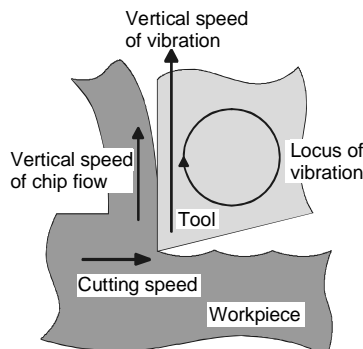


Fig. 1 Elliptical vibration cutting processes

공구에 부가하는 진동의 주파수를 20 kHz 전후 또는 그 이상의 고주파로 함으로써, 절삭효율을 높임과 함께 절삭가공 중 발생하는 절삭열을 억제하여 공구마모를 크게 억제시키는 효과를 기대할 수 있다. 이를 초음파타원진동절삭가공법이라 하며, 이 방법을 이용하여 일반적으로 급격한 공구마모로 인해 불가능한 단결정다이아몬드공구에 의한 절의 초정밀절삭을 실현하였다.

## 3. 실험방법 및 조건

가공실험은 Toshiba Co., Ltd.제 초정밀 5축가공기 ULC-100C(H3)를 사용하였으며, 웨이퍼 가공방식으로 평면가공을 행하였다. 초음파타원진동절삭의 효과를 알아보기 위하여 공구에 진동을 가하지 않은 보통절삭도 함께 행하였다. 가공조건은 표 1 나타내고 있다.

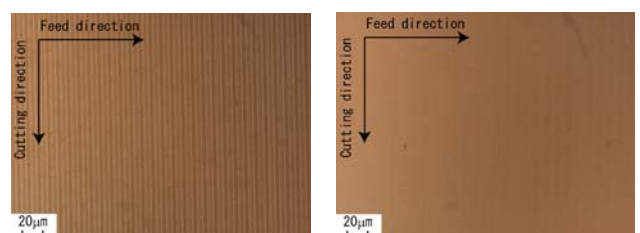
## 4. 실험결과 및 고찰

Fig. 2는 절삭속도 569 mm/min의 동일한 조건에서 보통절삭과 초음파타원진동절삭에 의해 절삭거리 약 1 m를 가공한 가공면의 현미경사진이다. Fig. 2(a)의 보통절삭에 의한 가공면의 경우 10 μm(본 실험의 이송량) 주기의 라인(이하, 이송마크)이 명확히 확인되고 있는데 비해, Fig. 2(b)의 초음파타원진동절삭에 의한 가공면의 경우 이송마크를 거의 확인할 수 없을 정도로 양호한 가공면을 유지하고 있음을 알 수 있다.

Fig. 3은 Fig. 2에 제시한 가공면에 대한 이송방향 단면곡선이다. Fig. 3(a)의 보통절삭에 의한 단면곡선의 경우 표

Table 1 Experimental conditions

Tool	Material	Single crystal diamond
	Nose radius	1.0 mm
Workpiece	Rake angle	0°
	Clearance angle	15°
Workpiece		Co-Cr-Mo Alloy
Vibration conditions	Conventional cutting	No vibration
	Elliptical vibration cutting	Locus: circle Frequency: 15.1 kHz Amplitude: 1μm
Cutting conditions	Cutting speed	190, 569 mm/min
	Depth of cut	5 μm
	Feed	10 μm
Cutting fluid		Dry



(a) Ordinary cutting (b) Elliptical vibration cutting  
Figure 2 Microphotographs of finished surface machined by the cutting speed of 569 mm/min

면거칠기가 188 nmP-V 로 표면이 매우 심한 굴곡을 나타내고 있으며, 이는 공구날끝이 미세한 칩핑이 발생하여 그 공구날의 형상이 전사된 결과로 판단되어진다. 한편, Fig. 3(a)의 초음파타원진동절삭에 의한 단면곡선의 경우 표면거칠기가 23 nmP-V 이며, 이 값은 공구경과 이송량으로부터 계산되어지는 이론값 12.5 nm 에 가까운 값이다.

계속 가공을 수행하여 절삭거리 약 13 m 를 가공한 후 가공에 사용되어진 공구의 현미경사진을 Fig. 4 에 제시하고 있다. Fig. 4(a)의 보통절삭 후의 경우, 공구 여유면의 마모폭이 매우 크고, 경사면 A 부분의 확대사진을 통해 공구날끝에 마이크로 칩핑이 발생하였음을 확인할 수 있다. 이에 비해 Fig. 4(b)의 초음파타원진동절삭 후의 경우, 공구 여유면의 마모가 매우 작고 마이크로 칩핑 현상도 확인할 수 없다. 이는 타원진동절삭의 가공기구가 가공 중 공구 여유면이 거의 접촉하지 않고, 또한 보통절삭에 비해 절삭부하가 크게 억제되었기 때문으로 판단되어진다.

Fig. 5 는 절삭속도를 190 mm/min 으로 낮추고 그외는 Fig. 2~4 와 동일한 조건에서 초음파타원진동절삭을 실시한 후의 공구의 현미경사진이며, Fig. 4(b)에 비해 공구마모가 큰 폭으로 억제되었음을 알 수 있다. 그 이유는 다음과 같다고 생각되어진다. 타원진동절삭의 경우 공구의 절삭방향 최대진동속도와 절삭속도의 비(이하, 속도비)가 중요한 가공조건이며, Fig. 2~4 에서 초음파타원진동절삭의 경우 속도비가 10 이며, Fig. 5 의 경우 속도비가 30 이다. 속도비를 높이면 공구경사면과 절삭칩 사이의 마찰력을 이용하는 효율이 높아지게 되며, 공구진동 1 주기당 제거량이 작아지게 되어 절삭부하가 억제되고, 또한 단속절삭이므로 공구의 순간적인 온도상승량도 억제되는 등 여러 복합적인 효과가 기대되어진다. 과거의 기초연구로부터 속도비가 30 이상이 될 때 본 가공법의 효율을 최대한 발휘할 수 있다고 알려져 있다. 따라서 공구마모가 크게 억제되었다고 판단되어진다. 한편, 보통절삭에 있어서는 약간의 절삭속도 변화로 공구마모량이 거의 변하지 않는다. 한편, 가공면의 표면거칠기는 21 nmP-V 로 속도비 10 의 경우와 거의 동일한 결과를 나타내었다.

표 2 는 가공표면의 경도를 마이크로 비커스 경도계를 사용하여, 시험하중 400 mN, 하중속도 70.6 mN/sec, 유지시간 10 sec 의 조건에서 측정한 결과이다. 가공방법에 따라 이처럼 표면경도의 차가 큰 것은 Co-Cr-Mo 합금이 열경화성재료이기 때문이며, 초음파타원진동절삭을 행한 가공표면의 경도가 보통절삭에 비해 100 HV 이상 낮은 결과를 나타내고 있다. 이는 이상에서도 설명한 바와 같이 타원진동절삭가공법이 보통절삭에 비해 가공부하가 크게 억제가능하기 때문으로 판단되어진다. 또한 이로 인해 Fig. 4 에서와 같이 마이크로 칩핑과 같은 돌발적인 공구결손 현상도 억제되었다고 판단되어진다.

마지막으로, Fig. 6 에 보통절삭과 초음파타원진동절삭에 의해 가공되어진 Co-Cr-Mo 합금 가공면의 개관 사진을 제시하였다. 보통절삭에 의한 가공면의 경우 가공초기 부분은 안정된 경면을 유지하지 못하고 있으며 이 부분의 표면거칠기는 약 800 nmP-V 였다. 이는 가공초기 돌발적인 마이크로 칩핑이 발생하였기 때문으로 판단되어진다. 한편, 초음파타원진동절삭에 의한 가공면의 경우 가공면 전체가 안정된 경면을 유지하고 있음을 알 수 있다.

5. 결론

이상의 결과로부터 Co-Cr-Mo 합금에 대해 단결정다이아몬드공구를 사용한 초음파타원진동절삭을 적용함으로써, 보통절삭에 비해 공구날의 마이크로 칩핑현상, 공구마모, 가공표면의 열경화 등이 현저히 억제됨을 알 수 있었으며, 실용적인 경면가공이 가능하다고 판단되어진다.

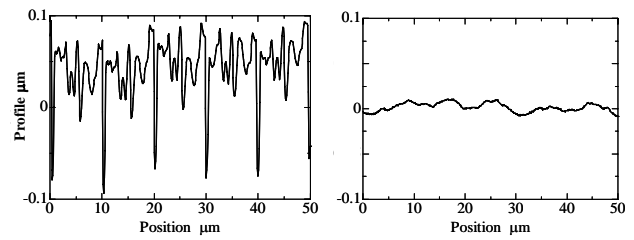


Figure 3 Feed direction Profiles of finished surface machined by the cutting speed of 569 mm/min

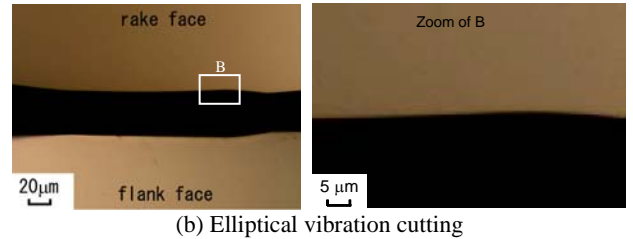
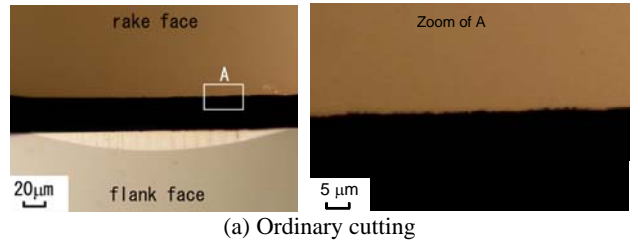


Figure 4 Microphotographs of tool edge after cut at the cutting speed of 569 mm/min

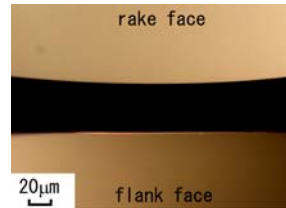


Figure 5 Microphotograph of tool edge after cut at the cutting speed of 190 mm/min

Table 2 Vickers hardness of finished surface [HV]

Cutting method	Cutting length	
	1 m	13 m
Ordinary cutting at the cutting speed of 569 mm/min	657	777
Ellip. vib. cutting at the cutting speed of 190 mm/min	539	603

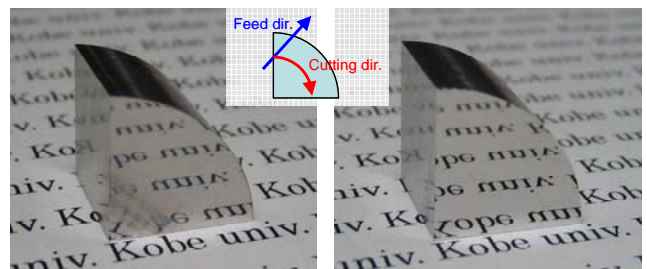


Figure 6 Photographs of machined surface

후기

Co-Cr-Mo 를 제공하여 주시고 본 연구에 협력하여주신 Nakashima Propeller Co., Ltd.에 감사드립니다.

참고문헌

1. Myung-Sik Park, "http://www.oskorea.com/plasty.html "
2. E.Shamoto and T. Moriwaki, "Ultraprecision Diamond Cutting of Hardened Steel by Applying Elliptical Vibration Cutting", Annals of the CIRP, 48, 441-444, 1999.