초음파 진동 부가에 의한 인코넬의 선삭가공

박 명 호*

(2002년 4월 1일 접수, 2003년 1월 27일 심사완료)

Ultrasonic Vibration Machining of Inconel

Myung Ho Park

Key Words: Ultrasonic Vibration Machining(초음파 진동 가공), Inconel(인코넬), Relief Flank(여유면), Rake Face(경사면)

Abstract

Recently, the demand for advanced technology of high precision and high efficiency processing of hard materials such as inconel is increasing with progress of industrial goods. However, the machinability of inconel is very inferior to the other conventional industrial materials and the machining technology for inconel involves many problems to be solved in machining accuracy, machining efficiency, etc. Therefore it is needs to establish the machining technology. The purpose of this study is to develop an advanced ultrasonic vibration machining techology for inconel, using the 60kHz and 75kHz high frequency, amplitude about 8μm and 4μm, respectively. As the result, this new ultrasonic vibration machining is reasonable and suitable for the high efficient, accuracy machining method of inconel.

1. 서 론

기술의 고도화에 의해 각종 기계부품의 성능은 도약적으로 발전하고 있고, 특히 항공 우주산업, 원자력산업 및 고압화학산업 등의 발전에 동반하여 각종 초내열 고내식 Ni기 합금의 사용량이 증대하고 있다. 그러나 이들 합금은 절삭성이 나쁘고, 공구수명이 짧다는 문제점과 동시에 가공비용이 비싸다는 단점을 갖고 있어, 재료특성의 이해와 함께 공구의 재질·형상 및 절삭조건을 충분히 만족시킬 수 있는 새로운 가공기술의 개발이 절실히 요망되고 있다.

따라서 종래의 가공법보다 효율좋게 사용할 수 있는 보완방법을 강구해 내는 것이 과제라고도 볼 수 있다. 초음파 부가에 의한 가공법은 과거 많은 연구자들에 연구가 진행되어 왔으며, 초음파선삭에 의해 절삭 표면조도가 개선되었다는 연구결과는 이미 발표된바 있고, 특히 Kumabe Junichiro는 초음파 절삭기구에 관하여 상세히 기술하였는데, 초음파의 절삭효과는 절삭속도 V가 임계속도 $2\pi af$보다 작아질 때 발휘되고 있음을 보고하였다.[1]

최인휴등도 경취재료를 20kHz의 초음파 진동을 가진 다이아몬드 공구를 이용하여 극저속에서 미소절삭 가공하여 생성된 칩을 분석하였는데 그 결과 초음파 진동이 칩으로부터 공구 여유면의 분리를 야기시키고, 이것이 여유면에 공기 동력학적인 윤활을 촉진시키므로 마찰력이 감소하며, 또한 순간절삭력을 감소시키기 때문에 이 절삭력의 감소가 절삭상태를 안정되게 유지하며 연속형 칩을 생성하게 된다고 발표하였다.[2]

또한, Yamashita 등도 20kHz, 40kHz범위에서의 초음파 부가에 의한 Ni기 내열합금인 인코넬의

* 회원, 삼척대학교 기계공학과
E-mail : parkmh@samcheok.ac.kr
TEL : (033)570-6326 FAX : (033)570-6397

공구수명 및 표면조도에 관해 조사하였는데 그 결과, 초음파부가의 경우 공구수명이 범용가공보다 약간 길어짐을 확인하였고, 표면거칠기 경우 또한 초음파 부가의 경우가 가공이 진행될수록 진동효과가 극대화된다고 보고하였다.[3,4]

따라서, 본 연구에서도 인코넬의 보다 높은 고품질가공을 위하여 주파수가 높은 60kHz 및 75kHz에서의 진동실험을 행하기로 하였다.

이번에 제안한 초음파(고주파) 진동 가공법은 공구의 선단에 초음파 발생기를 설치, 발생된 고주파 진동을 이용한 가공법으로, 종래의 범용가공과 비교하여 고정밀도, 고효율의 고품질가공이 가능한 새로운 가공방법이라 할 수 있다.[3]

특히, 이번 연구에서는 난삭재의 하나로 일컬어지는 인코넬 600 및 X750의 절삭재료에 중점을 두어, 초음파의 유무, 절삭속도 및 절삭량의 변화가 공구의 절삭저항 저감에 어느정도 기여하는가를 중점적으로 분석하고자 하였다.

2. 초음파 가공법

Fig. 1은 초음파 진동 가공장치의 개략도를 나타낸다. 이 가공장치는 가공기 본체와 발진기로 구성되어 있으며, 초음파 발진기에 의해 발생된 고주파 전력은 자석변형 진동자 또는 전기변형 진동자에 공급되어 원하는 주파수(본 실험의 경우 60kHz~75kHz)의 기계적인 진동으로 변화하게 된다. 초음파 가공에서 중요한 점은 공구를 포함한 설계·제작한 혼의 진동수를 진동자의 그것과 일치시켜야 한다는 것이다. 따라서 가공시 이것을 항상 공진상태로 유지하는 것이 중요하다고 볼 수 있다.

보통 초음파 가공은 종래의 방전가공이 적용되기 어려운 유리, 실리콘 및 다이아몬드 등의 경취재료 및 소결재료의 가공에 많이 사용되고 있다.

3. 실험장치 및 실험조건

3.1 실험장치

Fig. 2는 실험장치의 개략도를 나타낸다. 이 실험장치는 CNC고정밀선반, 초음파 발생장치, 측정장치 및 데이터 처리장치로 구성되어 있다.

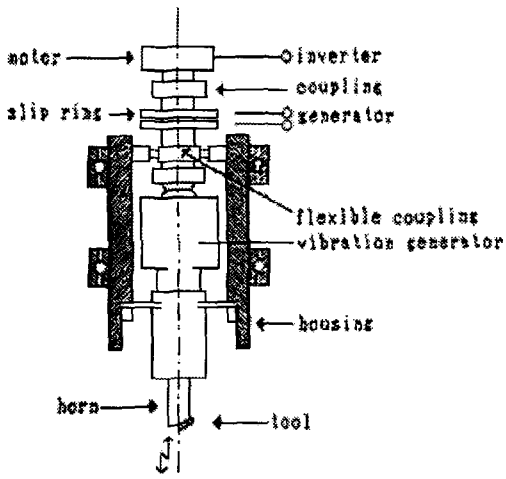


Fig. 1 Schematic of ultrasonic vibration machining apparatus

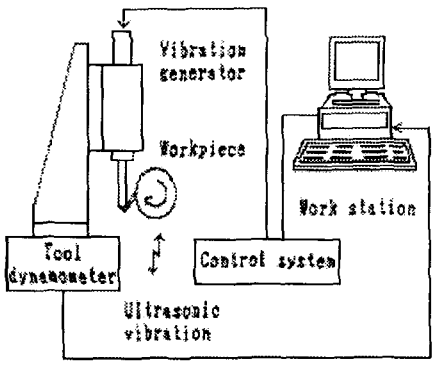


Fig. 2 Experimental apparatus

CNC고정밀선반(Tugami(株) C004形)은 NC언어를 사용, 미리 절삭속도, 절삭량 및 절삭시간을 계산하여 컴퓨터에 의해 모터 및 솔레노이드 밸브 등을 움직여 부품을 가공하는 기계장치이다.

실험장치는 초음파 발생장치 및 동력계의 설치를 위하여 일부를 수정하였고, 사용된 절삭액은 YANASE製의 YS-A-1300SH를 이용하였다.

초음파 발생장치의 진동주파수는 60kHz 및 75kHz(Taisyo製作所)로 공구선단에서 절삭방향으로 진동이 일어나도록 설계하였다. 이 초음파 발

생장치는 진폭의 조정이 가능하며, 측정된 진폭은 무부하의 경우 60kHz에서 2.5~8μm, 75kHz의 경우 1.7~5μm 정도였다. 그러나 가공실험에서의 진폭은 60kHz 및 75kHz의 경우 각각 8μm 및 4μm로 하였다.

수정압전식 공구동력계(KISTLER製, 9254形)는 절삭저항값(3성분)의 측정을 위해서 사용되었으며, 경사면 및 여유면 마모는 공구마모 계측기(KEYENCE(株), VH-6200)를 이용하였다.

3.2 실험조건

실험은 우선 CNC선반에 절삭속도 v(m/min) 및 절삭량 d(mm)을 미리 계산·입력한 후, 초음파 발생장치를 이용, 초음파를 발생시켜 절삭가공을 시작하게 된다. 절삭저항값은 공구동력계를 이용하여 On Line상에서 측정하였으며, 공구마모의 측정은 매회 절삭실험이 끝난 직후 팁홀더에서 팁을 분리하여 측정할 수 있도록 하였다.

이번에 사용된 재료는 인코넬 600 및 X750이며 **Table 1**에 이들의 기계적 성질을 나타내었다.

Table 2는 실험조건 및 공구사양을 나타내며, 사용된 공구는 코팅팁(KC730)이었다.

Table 1 Characteristics of work materials

	Yield Stress	Tensile Stress	Elongation
Inconel 600	241(MPA)	655(MPA)	51(%)
Inconel X750	910(MPA)	1262(MPA)	28(%)

Table 2 Cutting conditions

Machine tool : CNC Precision Automatic Lathe C004, Tsugami Machine Co., LTD.
Amplitude : 2.5-8μm(60kHz) and 1.7-5μm(75kHz)
Cutting tool : Coating tip(KC 730) Nose radius(0.4mm)
Workpiece material : Inconel 600 and X750
Cutting fluid : Oil type cutting fluid YS-A-1300SH
Cutting conditions : Cutting speed : V=2-50m/min Depth of cut : d=0.4mm Feed rate : f=0.02mm/rev

4. 실험결과 및 고찰

4.1 절삭저항

일반적으로 초음파 진동부가의 절삭가공에서는 범용가공과 비교할 때 절삭저항이 작게 됨을 알 수 있다. 이러한 효과를 초래하는 진동절삭이 가능한 임계절삭속도 Vc는 60kHz의 경우 Vc=67.9 m/min이고, 75kHz의 경우는 Vc=56.6 m/min 이었다. **Fig. 3**은 인코넬 600, 75kHz에서의 초음파 진동을 부가했을 경우의 3분력의 절삭저항 값을 나타내고 있다.

절삭속도 V의 변화에 따른 초음파 가공과 범용가공을 비교할 때, 초음파 가공의 경우가 절삭속도 V가 저속인 경우 확실히 절삭저항값이 저감됨을 알 수 있었고, 반대로 절삭속도가 빠를수록 그 차이는 작아짐을 확인할 수 있었는데, 이것은 절삭속도가 임계절삭속도에 가까워지기 때문이라 사료된다.

4.2 절삭칩

Fig. 4는 범용가공과 초음파 가공에서의 절삭칩의 특징을 나타내고 있다. 가공조건은 범용가공과 초음파 부가 모두 동일하게 하였고, 결과를 살펴볼 때 초음파 부가의 경우가 절삭칩의 절층(curl)직경이 범용가공에 비교하여 작아짐을 사진을 통하여 확인할 수 있었다.

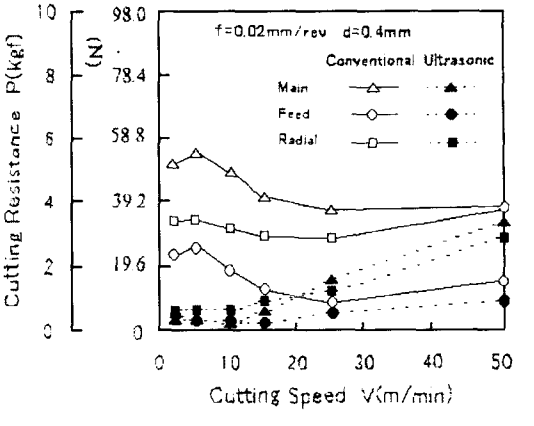
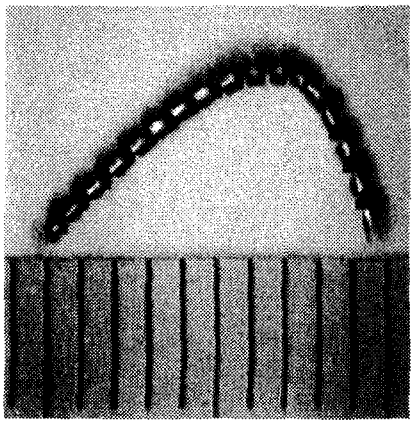


Fig. 3 Relation between cutting resistance and cutting speed(Inconel 600)

(a) Conventional

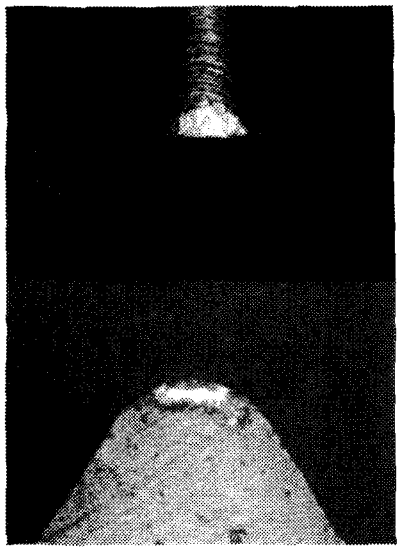


(b) Ultrasonic(75kHz)

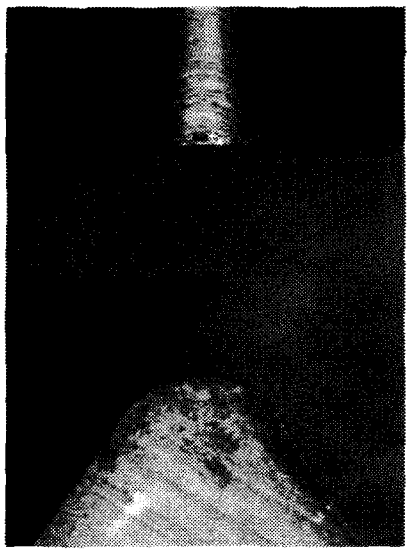
Fig. 4 Photographs of cutting chips

4.3 공구수명

범용가공과 초음파 진동 가공의 공구의 관찰결과를 **Fig. 5**에 나타내었다. 범용가공의 경사면 마모를 살펴보면 응착현상이 나타남과 동시에 여유면 마모가 증가하였으나, 초음파 부가의 경우 응착현상은 볼 수 없었으며 마모 또한 비교적 적어짐을 확인되었다.



(a) Conventional(cutting time t=30min)



(b) Ultrasonic(75kHz, cutting time t=30min)

Fig. 5 Photographs of cutting tools

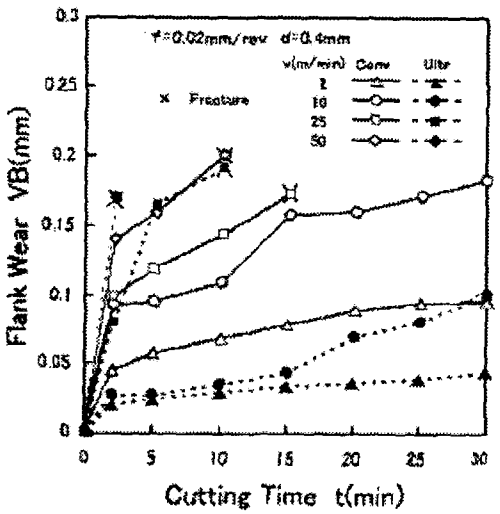


Fig. 6 Relation between flank wear VB and cutting time(75kHz, Inconel 600)

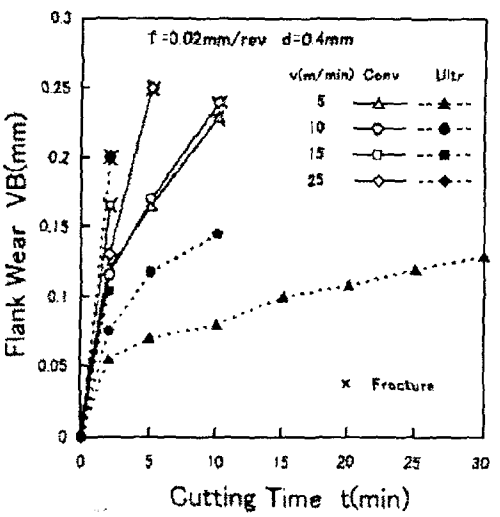


Fig. 7 Relation between flank wear VB and cutting time(60kHz, Inconel 600)

Fig. 6은 인코넬 600의 범용가공과 75kHz의 초음파 진동 가공에서의 여유면 마모VB의 측정결과를 나타내고 있다. 절삭속도 V를 변수로 하여 측정한 결과, 저속절삭에서는 초음파를 부가한 경우가 범용가공에 비교하여 VB가 작아진다는 점에서 공구수명이 길어짐이 확인되었다.

반면, 초음파 진동에서는 절삭속도가 빨라질수록 공구결손이 쉽게 발생되었는 경향이 있었는데, 고속의 경우 특히 초음파 진동이 공구의 결함에 영향을 미치기 때문이라 사료된다.

Fig. 7은 인코넬 600의 범용가공과 60kHz의 초음파 진동 가공에서의 여유면 마모VB의 측정결과를 나타내고 있다. 그래프에서 볼 수 있듯이, 60kHz 및 75kHz에서의 공구마모는 큰 차이가 볼 수 없었지만, 60kHz의 경우가 약간 작아지는 경향을 나타내었다.

또한, 절삭속도가 V=2m/min 및 V=5m/min에서의 공구마모는 거의 동일하였으나, 가공능률을 고려하면 V=5m/min의 경우가 적합하다고 사료된다. 이전 실험의 20kHz 및 40kHz의 적당한 절삭속도는 V=10～15m/min 정도였다.[4]

Fig. 8은 인코넬 X750의 범용가공과 초음파가공(75kHz)에서 시간의 경과에 따른 공구마모와의 관계를 표시하고 있다.

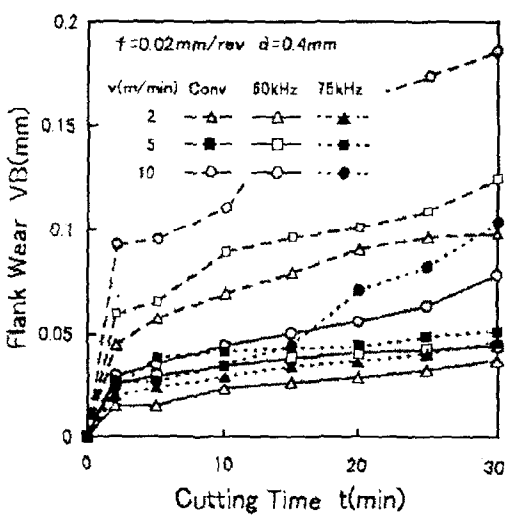


Fig. 8 Relation between flank wear VB and cutting time(75kHz, Inconel X750)

Fig. 8은 인코넬 X750의 범용가공과 초음파가공(75kHz)에서 시간의 경과에 따른 공구마모와의 관계를 표시하고 있다.

Fig. 6의 인코넬 600과 비교하여 보면, 결과는 비슷한 경향이 나타났지만, X750의 경우가 항복점이 높기 때문에 결함이 발생하기 쉬웠으며 여유면 마모가 증대함과 동시에 공구수명 또한 작아짐을 알 수 있었다.

5. 결 론

Ni기 내열합금 인코넬 600 및 X750을 사용하여 60kHz 및 75kHz의 초음파 진동 부가에 의한 선삭가공을 수행한 결과 다음과 같은 결론을 얻어낼 수 있었다.

(1) 진동절삭이 가능한 임계절삭속도 Vc의 값은 60kHz의 경우 67.9m/min이었고, 75kHz의 경우 56.6m/min값을 얻을 수 있었다.

(2) 60kHz 및 75kHz의 초음파 진동가공에서의 공구수명은, 범용가공과 비교할 때 절삭속도가 저속인 경우 향상됨을 확인할 수 있었다.

(3) 고주파수 가공의 진동절삭속도는 저주파수 초음파 진동가공과 비교하여 절삭속도가 상대적으로 작을 때, 가공능률이 향상됨을 알 수 있었다.

후 기

본 연구를 수행하는 데 지원과 협력을 하여 주신 九州工業技術研究所의 山下 勇 주임연구원에게 깊은 감사를 드립니다.

참고문헌

(1)部淳一郎,1979,精密加工振動切削-基礎應用,實教出版

(2)Choi, I.-H., Kim, J.-D., 1997, "Characteristics of Chip Generation with Ultrasonic Vibration Cutting in the Extremely Low Cutting Velocity," *KSME*, Vol. 21, No. 4, pp. 655～662

(3)山下勇, 朴明浩, 道律毅, 1999, "高い周波數の超音波付加によるインコネルの旋削加工," 精密工學會沖繩地方講演會論文集, pp. 145～146.

(4)山下 勇, 道律 毅, 1999, "インコネルの超音波振動旋朔における仕上げ面の評價," 精密工學會春季大會佐賀地方講演會論文集, pp. 232～233.