

Ti-6Al-4V 타이타늄 합금의 선삭특성

홍우표*, 김형철**, 이동주***

Machining Characteristics of Ti-6Al-4V Titanium Alloy

Woo Pyo Hong*, Hyeung Chul Kim**, Dong Ju Lee***

ABSTRACT

The low density, sustained high temperature strength and excellent resistivity to acid materials have made them strong candidate materials for future aerospace or medical applications. Nowadays their usage has already been broaden to everyday's commercial applications such as golf club heads, finger rings and many decorative items, Anticipating the general use of this material and development of the titanium alloys in domestic furnaces, the review and the study of the machining parameters for those alloys are deemed necessary. The present studies are concentrated to the machining parameters of the Ti-6Al-4V alloys due to their dominant position in the production of titanium alloys.

Key Words : Machinability(가공성), Cutting force (절삭력), Tool life test(공구 수명시험), saw-toothed chip(톱날형 칩), Tool wear(공구마멸)

1. 서론

타이타늄은 가볍고 강하면서도 耐蝕性이 양호하기 때문에 "꿈의 금속"이라고 하여 1947년에 미국에서 처음으로 공업적인 생산이 시작되어 공업재료로 등장한 이후로 반세기가 경과하였다. 특히 가볍고 강한(比強度가 높은) 특성으로 인하여 항공기 재료로서, 2차 대전 후의 제트기화에 없어서는 안되는 재료로 되었다. 더 나아가 현재 우주 및 군사용으로 뿐 아니라 안경 프레임, 골프 클럽등 일반 상용품 소재로 사용되는 등

용도가 다양화되고 있다. 타이타늄은 표준화된 기술로 주조와 단조가공이 가능하며, 인베스트먼트 주조 방법을 적용할 경우, 통상의 단조나 가공품보다 더 경제적인 수 있다. 타이타늄은 분말 야금법으로도 제조될 수 있고, 용접, 브레이징, 접착, 확산접합 등 거의 모든 접합방법을 적용할 수 있고 기계가공 역시 다양한 가공방법의 이용이 가능하다.¹⁾

그러나 타이타늄의 가격은 대표적인 Ti-6Al-4V 합금의 경우 1파운드 당 30달러 이상의 상당하고 가이므로 그 우수한 특성에도 불구하고 항공·우주, 화학 플랜트 등 특수한 용도에 거의 집중되게

* 국방과학연구소
** 충북과학대학
*** 충남대학교

사용되고 있는 형편이다.

2천년도 현재 국내에서는 아직 소재로서 개발되지 않아, 타이타늄 素材 소요량 전량을 외국으로부터의 수입에 의존하고 있으며, 가격이 高價인 점 때문에 기대되는 만큼 활발하게 이용되고 있지 않고, 자연히 타이타늄 합금의 기계가공에 관한 연구도 활성화 되고 있지 않다. 국내의 항공, 우주 산업 분야는 그 기초가 쌓여 가고 이미 성장의 단계로 나아가고 있기 때문에 그에 따른 타이타늄 材 가공이 점차 많아지고 있으며, 나아가 타이타늄 소재의 국내생산도 예상해 볼 수 있는 단계에 도달해 있다고 생각된다. 따라서 타이타늄의 기계가공에 대한 기본적인 지식의 축적이 우선적으로 요망되는 시점에 있다. 본 연구에서는 타이타늄 합금의 50%이상을 차지한다고 할 만큼 널리 쓰이는 Ti-6Al-4V 타이타늄 합금을 기준으로 3차원 선삭시 공구마멸 및 절삭특성을 실험을 통하여 검토하였다.

2. 실험방법

2.1 공구 마멸 실험

Table 1 에 공구 마멸실험에 사용한 공구 및 가공조건들을 보였다. 사용공구의 바이트는 초경 K10종, throw-away type의 정사각 형상이고 측정을 위하여 칩 브레이커가 없는 것으로 하였다.

Table 1 Cutting conditions for tool life test

Cutting velocity	50~120 m/min
Feed	0.1~0.3 mm/rev
Depth of cut	~1.5 mm
Tool material	K 10 carbide
Tool geometry	Throw-away type rake angle -8° nose r=0.4mm
Tool holder	CSDNN2525M
Cutting fluid	none (dry cut)

* 국방과학연구소
** 충남대학교

실험편의 화학성분 및 기계적 성질은 Table 2 와 3에 나타내었다.

Table 2 Chemical compositions of Ti-6Al-4V specimens
unit: wt %

Ti	Al	V	Fe	O ₂	C	N ₂	H ₂	Y	Others
89.13	6.3	3.8	0.19	0.16	0.01	0.01	0.0015	0.001	~0.4

Table 3. Mechanical properties of Ti-6Al-4V specimen

Direction	UTS (KSI)	0.2%YS (KSI)	EL(%)	RA(%)	Size
longitudinal	148.7	138.3	12	29.3	φ190x150
Transverse	144.9	133.5	12	21.6	

2.2 가공특성 실험

가공 특성실험 시험편은 직경 60 mm의 타이타늄 환봉을 4구역으로 구분하여 선속도 60m/min 에서 절삭깊이(0.5, 0.75, 1.0, 1.5mm)와 이송(0.1, 0.15, 0.2, 0.3 mm/rev)을 각 4단계로 변화시켜 총 16개의 조건으로 피삭재의 주분력, 이송분력, 배분력 및 표면조도를 측정하였다.

타이타늄 재료의 가공특성 실험을 위하여 Fig. 1 과 같이 실험장비를 구성하였다. 타이타늄의 절삭력의 측정을 위하여 Kistler사의 압전식 3 component 공구 동력계(type 9257A)와 전하 증폭기(type 5011)를 사용하였다. 데이터 수집에는 Global Lab 프로그램과 DAQ 1200 A/D 컨버터를 이용하였다. 전하 증폭기의 스케일은 1 volt당 200 N 으로 세팅하였으며, 샘플링 횟수를 1kHz로 하였다.

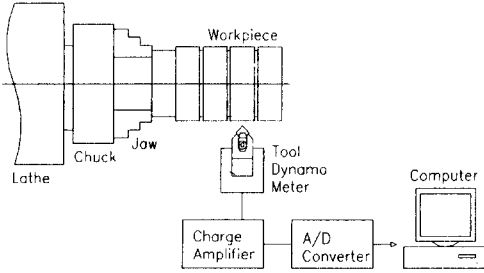


Fig. 1 Test equipments for experiments of machining characteristics of Ti-6Al-4V alloy

절삭력에 의한 불필요한 채터나 가공물의 흔들림이 없도록 가공물을 심압대로 지지하고, 절삭깊이를 한 시편 상에서 동일하게 취하여 이송을 단계에 따라 변화시켜 가면서 절삭실험을 실행하였다. 공구마멸에 따른 실험 값의 오차를 줄이기 위하여 매 실험 순서마다 공구의 팁 및 절삭 날을 교환하여 가공하였다.

실험장치를 통하여 획득한 데이터는 ASCII code로 변환하여 text 파일로 저장한 후 엑셀 등의 프로그램을 이용하여 분석하였다.

3. 실험결과 고찰

3.2.1 공구마멸

Fig.2는 초경합금 K10종을 사용하여 건식절삭한 공구수명시험의 결과를 보이고 있다. 이송은 $f=0.3\text{mm/rev}$ 로 하고 절삭깊이를 $d = 1.5\text{mm}$ 로 하여 절삭속도 V 를 가변하였을 때의 시간에 따른 측면 여유면의 마멸 경과를 도시한 것이다. 마멸량은 최대 마멸량을 기준으로 하였으며, 수명을 $V_B = 0.3\text{mm}$ 로 하여 그에 도달할 때 까지의 시간을 측정하였다. 공구면의 마멸량의 측정과 관찰에는 Hanmeasure 장비와 공구 현미경을 사용하였다.

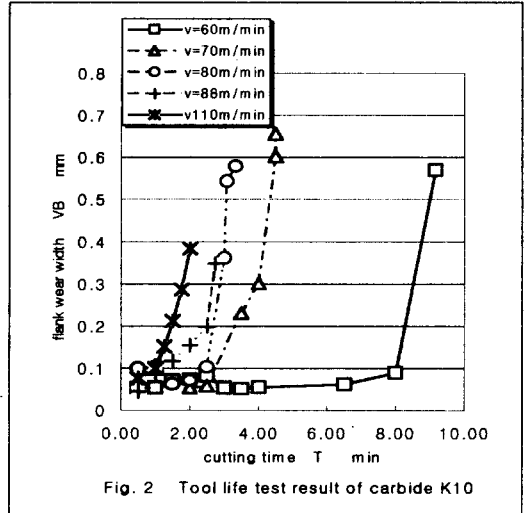


Fig. 2 Tool life test result of carbide K10

속도 60m/min 이하의 저속역(低速域)에서는 시간의 경과에 따라 마멸 속도가 거의 눈에 띄지 않을 정도로 완만하게 마멸하다가 수명 부근에 이르러 급격히 마멸이 상승하는 현상을 보였으며, 절삭 속도를 70m/min 이상으로 높이면 이러한 마멸 정체 구간이 좁아지고 공구마멸이 시간에 따라 급속하게 진행되는 양상을 보였다.

급속 마멸은 Fig.3의 예와 같이 절삭 날의 치평을 수반하고 그와 함께 공구의 주 절삭날에서 바로 Fig.4와 같은 형태의 크레이터 마멸이 진행되는 형태를 보이는 것도 특징적이다.

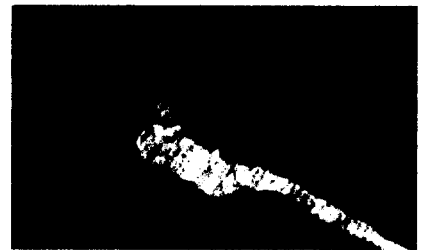


Fig. 3 flank wear in machining Ti-6Al-4V alloy

여유면의 마멸에 따라 크레이터의 깊이를 측면 여유면 쪽에서 관찰할 수 있을 정도로 공구 상

* 국방과학연구소
** 충남대학교

면에서의 마멸이 절삭날에 근접해서 발생하고 있음을 관찰할 수 있다.

마멸 폭에 있어서도 절삭 초기부터 공구 상면에서의 마멸폭이 측면 여유 면의 마멸 폭 보다 더욱 뚜렷이 관찰할 수 있을 만큼 크고 이 현상은 계속하여 관찰되었다. 그러나 크레이터의 마멸은 마멸 깊이 K_T 를 측정하는 것이 일반적이므로 공구 상면의 마멸 폭을 공구 수명의 기준으로 하지 않았다.



Fig. 4 crater wear observed from flank plane

마멸의 형태는 잘 알려진 대로 가공 시에 집중되는 열에 의하여 피삭재가 공구면에 응착하는 응착 마멸의 형상을 하고 있다. 심한 경우에는 절삭 칩이 일부 공구에 응착한 경우도 관찰할 수 있었다.

또한 절삭 칩의 형상이 Fig.5에서 처럼 톱날 형상으로 발생하는 것을 거의 모든 실험속도에서 관찰되었다. 그리고 Fig.6에 보인 바와 같이 톱날 형상의 피치가 절삭속도의 크기에 관계없이 변화가 거의 없었다.



Fig.5 saw-toothed chip shape in machining Ti-6Al-4V

이것은 Ueda 등의 실험에서 타이타늄의 가공 시

속도에 따라 피치가 증가한다고 하는 것과는 다소 다른 결과를 보이고 있다.²⁾ 이것은 톱날형 칩의 형성 기구가 칩 흐름의 불안정에 기인하는 것으로 해석하는데 있어서 이론적으로 더 검토해 보아야 할 것으로 사료된다.³⁾⁴⁾⁵⁾

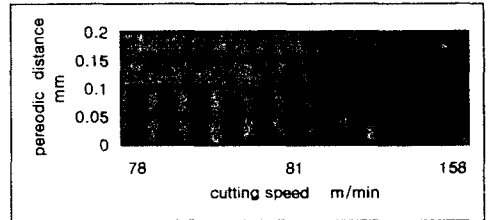


Fig. 6 Distance between adjacent saw-tooth shaped elements in turning Ti-6Al-4V titanium alloy

3.2.2 절삭특성

Ti-6Al-4V합금의 절삭특성을 공구 마멸실험을 통하여 확인한 결과 가공성이 비교적 양호한 60 m/min의 속도 부근에서 측정된 결과의 예를 Fig. 7~ Fig.8 에 보였다. 절삭력의 크기는 주분력, 배분력 및 이송분력의 순이며, 절삭 깊이에 따라 그 크기가 증가하고 있다. 특히, 주분력의 경우, 이송분력이나 배분력에 비하여 이송량의 영향을 보다 많이 받는 것을 알 수 있다.

이송량이 0.15mm/rev 에서부터 그 이상의 이송량에서는 이송량의 크기에 비례적으로 균일한 상승을 하고 있으나 0.1mm/rev에서는 비례치 보다 다소 높은 편인 것을 같은 그림에서 볼 수 있다. 이것은 절삭깊이가 낮을 경우 치수 효과에 의하여 절삭력의 증가를 초래한다고 하는 주장과 일치하는 것이라고 사료된다.

선삭에서는 2차원 절삭에서의 절삭 깊이와 밀접한 관계에 있는 것이 바로 3차원 선삭에서의 피드라고 할 수 있기 때문이다.

한편 절삭깊이의 영향을 살펴보면 주분력의 경우에는 비례적 경향이 뚜렷하나, 이송 및 배분력의 경우에 있어서는 Fig.8에서 보는 바와 같이 절삭깊이가 1.0 mm를 경계로 하여 그 이상에서는 절삭깊이가 커져도 절삭력이 별다른 증가를 보이지 않는다.

* 국방과학연구소
** 충남대학교

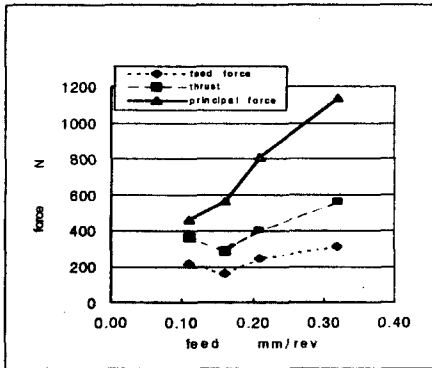


Fig. 7 effect of feed force on the cutting forces

이 현상은 바로 위에서 피이드의 영향에서 검토한 특이 현상의 또다른 증거로 볼 수 있다고 사료된다. 즉, 절삭 깊이가 낮을 경우 치수효과에 의하여 비례치 보다 더 높은 절삭력의 초래를 의미하는 것이기 때문이다.

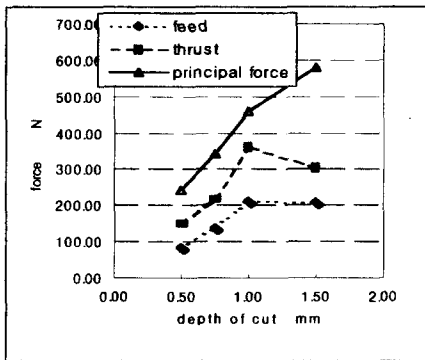


Fig. 8 effect of depth of cut on the cutting forces

4. 결론

Ti-6Al-4V 합금에 대하여 공구마멸 수명실험과 가공특성 실험을 통하여 아래와 같이 결론을 얻었다.

1) Ti-6Al-4V 타이타늄 합금의 건식 선삭에서

선속도 60m/min 까지는 별다른 마멸 속도를 보이지 않으나 그 이상의 선속도에서는 매우 민감한 영향을 받는다.

2) 마멸은 응착마멸 형태를 보이며, 마멸 폭은 프랭크 마멸 폭보다 크레이터 마멸 폭이 더욱 크고 뚜렷하게 관찰되었고, 주 절삭날에서부터 크레이터가 시작되는 특징이 있다.

3) 절삭 깊이의 절삭력에 대한 영향선도에서, 주절삭력을 제외한 이송력 및 배분력은 절삭깊이 1.0 mm/rev을 경계로 하여 그 이상에서는 별다른 증가를 보이지 않는 특성을 보인다.

참고문헌

- (社)チタニウム協會, "チタンの加工技術," 日刊功業新聞社, 第1章 1992
- Noboru Ueda, Tetsuo Matsuo "A Study of Saw-toothed Chip Formation(1st) -Analysis of the Pitch of Shear Zones and the Distance of Slips-," J. of JSPE, Vol. 44, No.9, pp.1085-1091, 1978.
- J. Sheikh-Ahmad and J.A.Bailey, "Flow Instability in the Orthogonal Machining of CP Titanium," J. of Manufacturing Science and Engineering, ASME, Vol.119, pp.307-313, 1997.
- J.C.Lemaire and W. A. Backofen, "Adiabatic Instability in the Orthogonal Cutting of Steel," Metallurgical Transactions, Vol. 3, pp. 477-481, ASME, 1972.
- Eiji Usui, Toshiyuki Obikawa, Takahiro Shirakashi, Study on Machining Process of Difficult-to-Machine Materials(2nd) -Analysis of Stress and Temperature Distributions by Visio-Plasticity Technique and Finite Difference Method-, "J. of JSPE, Vol.52, No.9, pp.1623-1630

* 국방과학연구소

** 충남대학교