

티타늄 합금의 연삭에 관한 연구, Part 2 : 초연마재를 사용한 연삭특성

김성현*(금오공대 기계설계 대학원), 최 환, 이종찬, 정선환(금오공대 기계공학부)

A Study on the Grinding of Titanium Alloy, Part 2 : Grinding characteristics by using Superabrasives

S. H. Kim(Dept. of Eng. Sci. Mech., KNUT), H. Choi, J. C. Lee, S. H. Cheong(Dept. of Mech. Eng., KNUT)

ABSTRACT

This investigation reports the grinding characteristics of titanium alloy(Ti-6Al-4V). Grinding experiments were performed at various grinding conditions. The grinding forces and grinding forces ratio were measured to investigate the grindability of titanium alloy with the Diamond and CBN wheel. To investigate the grinding characteristics of titanium alloy grinding force, grinding force ratio and grinding ratio were measured. Surface profile of wheel was also measured with tracer and the ground surfaces and chip were observed with SEM. Grinding-ratio of titanium alloy was much lower than that of other materials. Grinding-ratio of titanium alloy with Diamond wheel was almost six times larger than that with CBN wheel.

Key Words : Titanium alloy(티타늄 합금), Grinding force(연삭력), Grinding force-ratio(이분력비), Grinding ratio(연삭비), Surface profile of wheel(숫돌표면형상)

1. 서론

최근들어 항공우주 산업의 발달로 인하여 티타늄의 수요가 급증하게 되었다. 티타늄은 가벼우면서도 강하고 내식성이 좋으며, 특히 가볍고 강도가 높은 재료를 필요로 하는 항공기 재료에 적용되어지고 있다. 특히 우수한 내식성에 의해 스테인레스강이 부식되는 분야에서도 사용 가능하여 화학공업용 장치에 없어서는 안될 중요한 재료이다. 티타늄은 철강 등의 재료에 비해서 내식성, 내열성, 인장강도 등이 우수한 특성을 가지고 있지만 기계가공의 경우, 그 우수한 특성으로 인하여 가공이 어려운 난삭재로 취급되어진다.

티타늄의 연삭가공에 있어서 재료 자체의 열전도율이 매우 작아 가공중에 발생한 열이 방출되지 않고 축적되는 특징이 있어 연삭과 같이 열이 많이 발생하는 가공에 있어서 연삭열이 가공점에 축적되어 wheel입자의 마모가 크게 되며 질소, 탄소 등과의 반

응을 쉽게 일으켜 wheel의 수명을 단축시키는 결과⁽³⁾를 가져온다. 또한 영틀이 매우 작고 인장강도가 큰 성질로 인하여 고인성을 나타낸다. 최근 티타늄 합금의 연삭성능, 연삭조건⁽⁴⁾, 가공물에 미치는 영향⁽⁶⁾ 등의 연구가 이루어지고 있다.

본 연구에서는 초연마재를 사용한 고강도 티타늄 합금(Ti-6Al-4V)의 연삭특성을 합금공구강(SKD-11)과 비교하여 살펴보기 위해 Diamond와 CBN wheel을 사용하여 연삭력, 연삭비, wheel 표면의 Profile, 연삭횟수에 따른 연삭력과 이분력비와의 관계를 살펴보았다. 또한 연삭현상을 알아보기 위해 연삭된 표면을 SEM으로 미시적 관찰을 하였고 영상현미경을 통해 wheel의 표면도 관찰하였다.

2. 실험조건 및 방법

본 실험에 사용된 wheel은 입도가 #100이고, 결합도 N, 집중도 100인 레진본드 Diamond 와 CBN

wheel을 사용하였고, 공작물은 티타늄 합금(Ti-6Al-4V)과 합금공구강(SKD-11)을 사용하였다. Ti-6Al-4V의 기계적 특성은 인장강도가 1000MPa 이상의 고강도이고, 열과 전기 전도율이 매우 작고 열팽창률이 철의 1/2정도이며 비자성체이다. Table 1은 본 연구에 사용된 실험조건을 나타내고, Fig.1은 실험장치의 개략도를 나타낸다. 공작기계는 1 μ m까지 절입이 가능하도록 디지털 장치가 부착된 부분 유압식 범용 횡축 수평형 평면연삭기(YGS-50A (1.5kW, 3440rpm))를 사용하였다. 연삭력의 측정을 위해 압전형 공구 동력계(Kistler, 9254)를 연삭기 테이블 위에 설치하고 그 위에 지그를 설치한 후 공작물을 고정하였다. 공작물 연삭시 공구동력계에서 발생된 신호는 다채널 증폭기(Kistler, 5019A)에서 증폭된 후 아나로그-디지털변환기(10tech, DaqBook)를 거쳐 디지털화되어 개인용 컴퓨터(PC)로 전송되고, Grinding force software를 사용하여 실험에서 얻어진 연삭력 값을 측정하였다. Wheel의 표면 Profile은 wheel을 흑연에 전자사키 측정식 표면조도계(Mitutoyo, SV-600)를 사용하여 측정하였으며, 이때 Cut off 값은 0.8mm로 하였다. 연삭된 공작물 표면의 사진은 전자주사현미경(SEM)을 사용하여 촬영하였고 wheel 표면은 영상현미경(MW-200)을 이용하여 관찰하였다.

Table 1 Experimental set-up

Grinding machine	Horizontal spindle surface grinding machine(YGS-50A)
Grinding wheel	SD100N100B(180D \times 31.75d \times 10t) CBN100N100B(180D \times 31.75d \times 10t)
Work piece	Ti-6Al-4V : 89 \times 7, HRc 31 SKD-11 : 89 \times 7, HRc 40
Grinding conditions	Wheel speed(V_s) : 32.4m/s
	Table speed(V_w) : 6 m/min
	Depth of cut(a_p) : 5, 10 μ m
	Grinding type: Up & Plunge & Wet
Grinding fluids	Syntilo 9954 (Castrol, 50:1)
Dressing conditions	WA120 stick Depth of cut : 10 μ m
	Table speed:6m/min

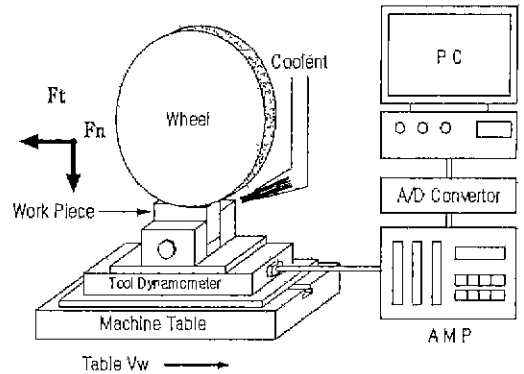
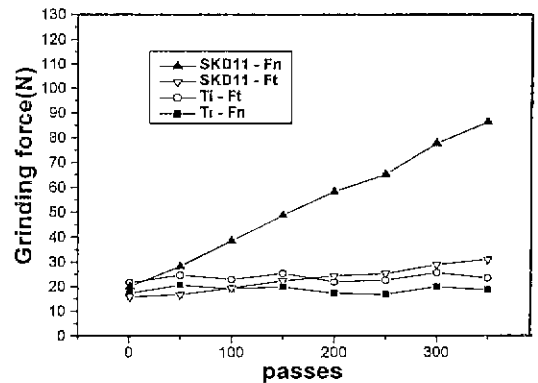


Fig. 1 Experimental conditions

3. 실험결과 및 검토

Fig. 2는 이송속도 $V_w = 6\text{m/min}$, 절입깊이 $a_p = 5\mu\text{m}$ 으로 400회 가공하는 동안 Diamond와 CBN wheel의 연삭력을 법선방향 연삭력(F_n)과 접선방향 연삭력(F_t)에 대해 각각 비교한 것이다. 티타늄합금의 연삭력은 Diamond wheel에서 횡수에 관계없이 거의 일정한 경향을 보이고 있으며 CBN wheel에서는 증가하는 경향을 보이고 있다. 그에 반해 Diamond와 CBN wheel로 SKD-11을 연삭하였을 경우 티타늄합금과 반대로 Diamond wheel에서는 계속적인 증가를 보이며 CBN에서는 조금씩 감소하는 경향을 보이고 있다 또한 티타늄합금에서는 Diamond와 CBN wheel의 F_t 값이 F_n 의 값보다 높게 나오고 있으나 SKD-11에서는 반대로 F_n 의 값이 F_t 의 값보다 높게 나오는 것을 볼 수 있다.



(a) Diamond wheel

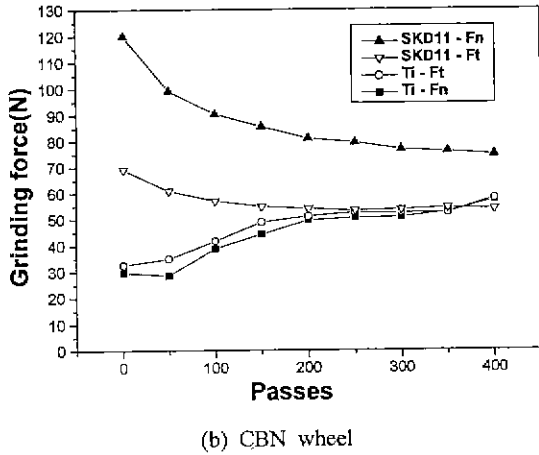


Fig. 2 Grinding force for Grinding passes with Diamond and CBN wheel ($V_w=6\text{m/min}$, $a_p=5\mu\text{m}$)

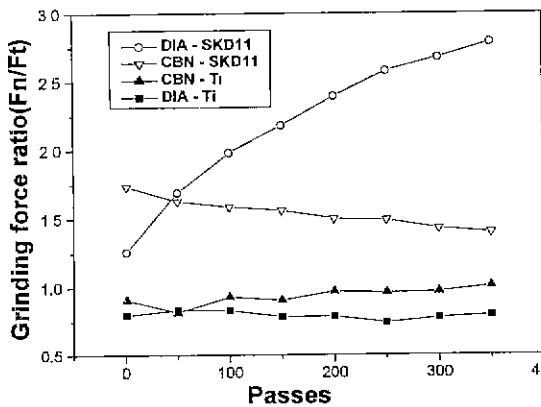


Fig. 3 Grinding force ratio versus Grinding passes ($V_w=6\text{m/min}$, $a_p=5\mu\text{m}$)

Table 2 Mechanical properties of Ti-6Al-4V

	Ti-6Al-4V	Cu
Young's modulus (GPa)	115	119
Tensile strength (MPa)	1006	237
Thermal Conductivity (cal/cm ² /s/°C/cm)	0.041	0.923

Fig. 3은 연삭횟수에 따른 이분력비(F_n/F_t)를 나타낸 것으로 Diamond와 CBN wheel에서 티타늄합금의 이분력비는 1보다 적은 값이 되었고 일반 연삭의 경우(이분력비가 1보다 크다)와 다른 결과로 나타났다. 이와 같은 현상을 규명하기 위하여 Table 2의 티타늄합금과 구리의 기계적 성질을 비교하여보면 영률이

거의 비슷한 값을 나타내며, 영률이 매우 적으므로 연삭시 변형이 증가하여 집선 방향의 F_t 가 커짐으로 이분력비가 1이하의 값을 나타내었다고 생각된다.

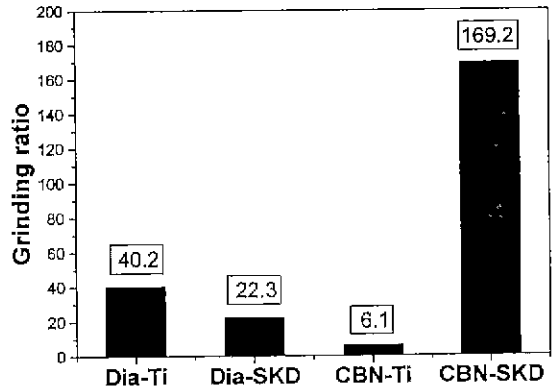
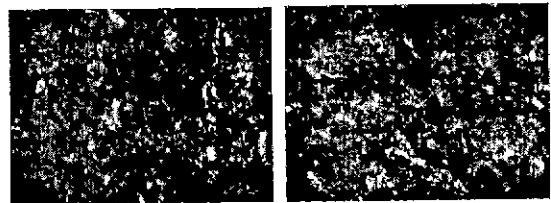


Fig. 4 Grinding ratio for Diamond and CBN wheel ($V_w=6\text{m/min}$, $a_p=5\mu\text{m}$, 400 passes)

Fig. 4는 Diamond와 CBN wheel에 대한 연삭비를 나타낸 것이다. 티타늄합금에 대한 Diamond wheel의 연삭비는 CBN휠에 비해 6~7배 높은 수치를 보이고 있으나 SKD-11에서는 상반된 결과를 보이고 있다. 이는 Diamond로 철계 재료 가공시 강 고유의 탄소용해 잠재력(carbon solubility potential)이라는 화학적 특성에 의해 탄소를 함유한 모든 물질과 반응하여 탄소를 표면에 흡수(확산반응)⁽¹⁾하려는 성질에 의해 다이아몬드 입자가 과도하게 마모되는 것에 기인한 것으로 생각된다. 위의 결과로 티타늄합금의 가공에는 CBN wheel보다는 Diamond wheel을 사용하는 것이 더 효율적이다. 그러나 Diamond wheel의 티타늄합금에 대한 연삭비 역시 일반 비철계 재료의 연삭비(100~200)⁽¹⁾에 비해 상당히 낮은 값을 보이고 있다.



(a) before(○:grain) (b) after(→fall out)

Fig. 5 Surface photograph of CBN wheel ($V_w=6\text{m/min}$, $a_p=5\mu\text{m}$, 400 passes)

Fig. 5에서는 티타늄합금의 연삭시 CBN wheel이 Diamond wheel보다 훨씬 낮은 연삭비를 가지는 이유를 살펴보기 위해 wheel의 표면 한 지점을 영상현미

경으로 확대한 사진이다. Fig. 5(a)는 CBN wheel로 티타늄합금을 연삭하기 전, Fig. 5(b)는 400회 연삭 후의 사진이다. Fig. 5(b)사진에서 보면 Fig. 5(a)의 사진에 비해 입자가 많이 탈락한 것을 볼 수 있다. 입자의 탈락부분을 화살표로 표시하였다.

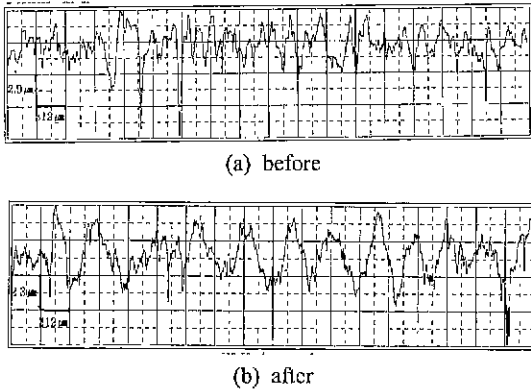


Fig. 6 Surface profile of CBN wheel ($V_w=6\text{m/min}$, $a_p=5\mu\text{m}$, 400 passes)

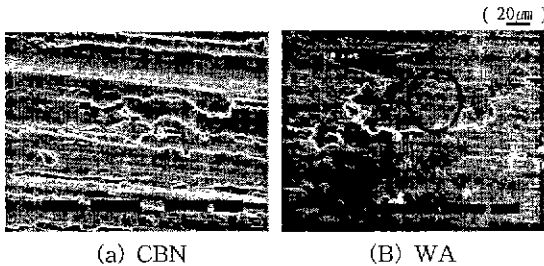


Fig. 7 Photograph of surface ($V_w=6\text{m/min}$, $a_p=10\mu\text{m}$)

CBN wheel 표면의 변화를 좀 더 자세히 살펴보기 위해 wheel을 흑연에 전사시켜 표면조도계로 측정된 표면 Profile을 Fig. 6에 나타내었고 Fig. 7은 SEM으로 CBN과 WA wheel(80K)로 연삭한 티타늄합금의 연삭면 사진을 나타내었다. Fig. 6 (a)는 티타늄합금 연삭전, Fig. 6 (b)는 400회 연삭 후 CBN wheel의 표면 Profile이다. 연삭전과 연삭후의 표면 Profile을 비교해 보면 Profile 모양이 많이 달라진 것을 볼 수 있는데 이것으로 wheel의 입자가 탈락, 마모 등이 일어났음을 알 수 있다. 절입깊이 $a_p=5\mu\text{m}$ 으로 400회 연삭하는 동안 CBN wheel의 마모량은 $50\mu\text{m}$, Diamond wheel은 $7.8\mu\text{m}$ 으로 측정되었으며 Fig. 6과 같은 방법으로 Diamond wheel을 측정하여 본 결과 입자의 탈락, 마모가 적게 측정되었다. 이상의 결과

로 Diamond wheel을 사용한 경우의 연삭비가 CBN wheel보다 높게 나타났다. Fig. 7(a)의 사진에서 CBN과 Diamond wheel로 티타늄합금 연삭시 기존 연삭재료와 같은 형태의 연삭면이 나타났다. Fig. 7(b)에서는 Fig. 7(a)와 달리 WA wheel에서 연삭면이 밀려서 생성된 형태⁽⁵⁾를 보이며 crack이 생성되어 있다. 티타늄합금은 Table 2에서 보는 것과 같이 영률은 낮지만 인장강도가 크고 열전도율이 낮은 특성을 가지고 있어 재료의 고인성과 가공점의 열축적에 기인하여 WA wheel에서 Fig. 7(b)와 같은 연삭면 형태와 표면 crack이 나타났고 CBN wheel에서는 Fig. 7(a)와 같은 연삭면을 보이지만 위와 같은 티타늄합금의 특성이 CBN wheel의 마모에 영향을 주었을 것이라고 생각된다.

4. 결론

본 연구에서는 티타늄 합금(Ti-6Al-4V)의 초연마제에 의한 연삭특성을 파악하기 위해 Diamond와 CBN wheel로 연삭 가공한 결과를 비교, 검토하여 본 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- (1) 티타늄합금의 연삭성능은 다른재료의 연삭성능⁽¹⁾에 비해 매우 낮게 나타났다.
- (2) 티타늄합금은 영률이 매우 적으므로 연삭시 변형이 증가하여 접선 방향의 연삭력(F_t)이 커짐으로 이분력비가 1이하의 값을 가진다.
- (3) CBN wheel의 경우 Diamond wheel에 비해 훨씬 작은 연삭비를 나타내고 있으므로 티타늄합금 연삭에 있어 Diamond wheel이 우수함을 알 수 있다.

참고문헌

1. Kara, Ratterman. "SUPERABRASIVES : Grinding and Machining", McGraw-Hill, 1990, chapter2,8
2. Malkin, S, "Grinding Technology", Ellis Horwood, 1989, p.148
3. "티타늄의 가공 기술", 한국기계연구원(日本티타늄협회 번역), 2000. pp. 49-53
4. Bobji MS, Venkatesh K, Biswas SK, "Roughness generated in surface grinding of metals", ASME , V.121 N.4 , 1999. 9, pp. 746-752
5. 김성현 외 4인, "A Study on the Grinding of Titanium Alloy : Part1", KSPE, 2000. 11. pp. 870~874