

# TiN 코팅 공구의 절삭저항에 관한 연구

이명재\*, 김광래\*\*, 유봉환\*\*\*

## A Study for Cutting Resistance of TiN Coated Tools

Myung-Jae Lee\*, Kwang-Lae Kim\*\*, Bong-Hwan Ryu\*\*\*

### Abstract

By using AIP(Arc Ion Plating) of a physical vapor deposition for the first time in Korea a ceramic tool whose surface is coated single layeredly with TiN is developed. In addition, cutting resistance appearing in the process of finishing cut of hardened carbon tool steel, STC3 is studied.

The principal and radial components of cutting resistance in those cutting conditions appear to be the same or similar, and the feed component is relatively small. The feed component is found to be in proportion to cutting width, and the radial component in proportion to cutting thickness. Owing to coating the cutting resistance of a TiN coated ceramic tool increases compared with that of a general ceramic tool.

**Key Words :** Cutting Resistance(절삭저항), Difficult-to-Cut Material(난삭재), TiN Coated Ceramic Tool(TiN 코팅 세라믹공구), Physical Vapor Deposition(물리증착), Early Fracture(초기파손)

## 1. 서론

고경강 절삭에 관한 연구로는 대부분 초경합금공구를 이용한 것으로 Kumbae 등<sup>1)</sup>은 K10의 공구재료를 이용하고 공작물은 탄소강(S55C)을 담금질하여 경도를 HRC 29~57 정도로 다양하게 한 후 20kHz의 초음파를 사용하여 칩의 형상, 공구파손, 표면거칠기 등을 연구하여 선

삭에서 고경강 가공이 가능함을 증명하였다. Nair 등<sup>2)</sup>은 선삭에서 절삭면적과 절삭분력관계를 절삭공구의 노즈반경과 관련지어 절삭분력의 모델을 제시하였으며, Narutaki 등<sup>3)</sup>은 CNC공작기계에서 흑세라믹공구를 사용한 절삭저항을 측정하여 배분력이 주분력 보다 3배 이상 크게 나타난다는 연구결과를 발표하였고, 또한 Sakamoto 등<sup>4)</sup>은 경도가 높은 재료에서 절삭 속도를 증가시키면 절삭저항은

\* 안성여자기능대학 기계설계과  
\*\* 인덕대학 기계과  
\*\*\* 숭실대학교 기계공학과

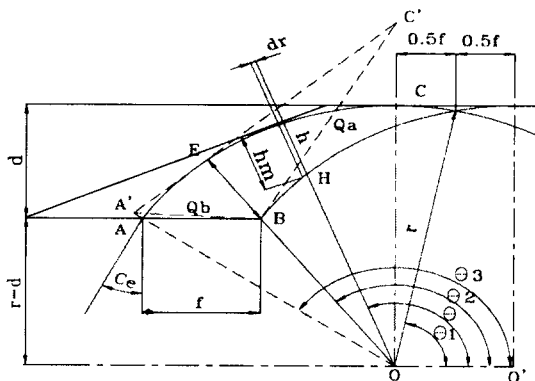


Fig. 1 Geometry of cutting cross-section or chip flow model for nose radius tool

감소하는 경향을 보인다는 등의 절삭성능에 관한 연구를 하였다. 절삭가공분야에서 공구재료의 특성을 향상시켜 새로운 공구를 만들어 내는 신소재 개발 및 연구가 활발하게 추진되고 있다. 또한 공구의 표면에 각종 신기술을 이용하여 코팅을 형성시켜 기존의 공구보다 우수한 공구 표면을 갖도록 하여 공구의 성능을 향상시키는 방법도 좋은 연구대상이다. 즉 초경합금, 고속도강 등의 절삭공구에 고경도 화합물을 코팅한 절삭공구 사용이 확대되는 추세이고<sup>15)</sup> 이런 코팅공구에 대한 마모저항, 온도상승억제, 공구파손 등 코팅공구의 절삭특성을 파악하는 것은 매우 중요하다.

공작물은 경도가  $H_R C 45$  이상이 되면 일반적인 절삭공구와 가공기술로는 가공이 불가능한 난삭재(difficult-to-cut material)로 분류된다. 보통 난삭재를 종래의 초경공구로 가공하게 되면 가공능률이 나쁠 뿐만 아니라 공구수명도 현저히 짧아지는 것으로 알려져 있다. CBN공구 및 세라믹공구는 고온에서 안전하며, 열전도율이 높고, 내열, 내식성 및 내마멸성 등의 특성을 가지는 고경질의 공구로 인정받으며 부품의 경량화 및 고강도화를 목적으로 하는 항공, 우주, 원자력, 조선, 자동차, 금형 산업 등에서 사용량이 증가하고 있는 실정이다. 생산현장에서 가공공정의 자동화에 따른 고경강은 정밀가공에 관한 생산성 향상을 위하여 우수한 공구재질이 필요함과 동시에 가공 중 공구의 마멸량이나 공구파손 또는 공구결손을 자동적으로 검출하는 기술에 절삭저항이 여러 각도에서 검토되어 그 유효성이 밝혀졌다.<sup>16)</sup> 그러나 이들의 대부분은 비교적 낮은 경도의 공작물을 큰 절삭깊이(절삭깊이)노즈 반지름)로 절삭한 것이 대부분이다.

따라서 본 연구에서는 물리적 증착방법(PVD)의 AIP(arc ion plating)를 이용한 TiN 코팅 세라믹공구를 개발하여, 경화 처리된 탄소공구강(STC3)을 노즈 반지름의 선단 부분으로 다듬질 선삭 가공하였을 때 발생하는 절삭저항의 특성을 조사하였다.

## 2. 이론해석

### 2.1 절삭저항

선삭가공시 절삭저항은 3개의 성분(Component)으로 나누어지고 공작물 접선방향의 주분력과 공작물 반경방향의 배분력, 이송방향의 이송분력으로 나누어진다. 열처리 경화된 탄소공구강(STC3)을 노즈반지름으로 절삭시 절삭공구와 공작물의 물립조건에 따라 배분력과 주분력이 가장 중요한 결과로 나타난다.

### 2.2 노즈 반지름을 갖는 3차원절삭 해석

절삭공구가 노즈 반지름을 갖는 선삭가공에서 절삭깊이(d)가 노즈반지름(r)보다 작은 경우에 물립조건에 따라 Fig. 1과 같이 최대절삭두께(hm), 절삭폭(b), 유효 어프로치각(Ce)이 달라진다.<sup>17)</sup>

## 3. 실험

### 3.1 실험장치

절삭실험은 범용선반을 사용했으며 공구동력계는 왕복대에 설치하였고 정확한 절삭깊이를 절입하기 위하여 0.01mm의 다이얼 게이지를 사용하였다. 또한 공작물의 경도를 측정하기 위하여 휴대용 경도기(TIME HLN-11A LEEB'S HARDNESS TESTER)를 이용하여 매 가공시 다시 경도를 측정하였다. 선삭가공시 공작물의 직경이 작아짐에 따라 속도의 변화에 적응하기 위하여 인버터(Starvert-Is3, 0-400Hz, 7.5Hp)를 사용하여 선반의 주축 회전수를 가변형으로 만들었다. 그리고 선반의 정밀도는 가공 전에 KS B 04205에 의하여 조정하였다. 또한 선삭가공시 진동을 억제하기 위하여 기초작업을 실시한 후 실험을 수행하였다.

절삭저항을 측정하기 위하여 압전형 공구동력계(KISTLER 9257A)사용하였으며 절삭신호의 증폭을 위하여 용량형 앰프(Charge Amplifier, KISTLER 5019A)를 사용하였다. 그리고 A/D변환기를 통하여 컴퓨터로 전송하여 데이터 처리를 하였으며 절삭저항의 최대측정범위

는 주분력이 1000N, 배분력이 500N, 이송분력이 500N으로 하였다.

### 3.2 공구

절삭공구는 기계적 충격과 열 충격에 강하여 고경도 공작물에 적합한 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/TiC인 흑세라믹공구를 사용하였으며, 초기파손의 억제와 절삭시향의 특성을 조사하기 위하여 흑세라믹공구에 TiN을 코팅하여 TiN 코팅 세라믹공구를 제작하였다. 이때 사용한 코팅장비는 일본 고배 장비인 ARC방식의 AIP6036장비이다.

Fig. 2는 TiN 코팅 세라믹공구의 표면조직 사진이다. 표면조직 사진에서 하얀 물방울 부분이 AIP(arc ion plating)법에 의해서 생긴 드롭렛(droplet)의 모양이고, Fig. 3은 TiN 코팅 세라믹공구의 TiN 두께이며

사진에서 둥그런 모양의 물방울이 AIP법의 공정 중에 굵은 Ti입자가 떨어져 나가 공구의 표면에 부착된 드롭렛의 모습이다. 이와 같이 드롭렛의 모양이 세라믹공구에 부착되어 공구자체가 어느 정도 거칠어 졌다는 것을 알 수 있다. Fig. 4는 세라믹공구의 표면조직으로서 일정한 조직



Fig. 4 Surface texture of ceramic tool(×1,000)

Table 1 Physical properties of ceramic tools

Composition	Modulus	Hardness	Density	Fracture toughness	Thermal expansion efficient
	kgf/mm <sup>2</sup>	H <sub>R</sub> A	g/mm <sup>3</sup>	MN/m	10 <sup>-6</sup> °C
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> /TiC	80	94.5	4.4	4.9	7.8

Table 2 Physical properties of TiN coated ceramic

Coated property	TiN
Coated thickness(μm)	1.8~2.0
Coating principle	PVD

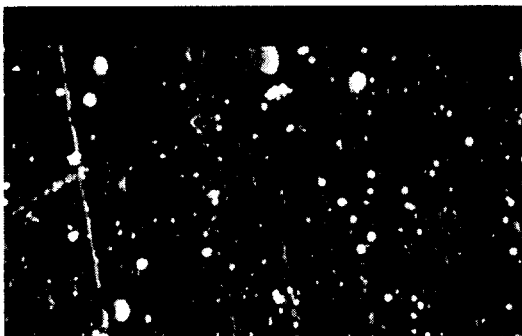


Fig. 2 Surface texture of TiN(×1,000)



Fig. 3 Coated thickness of TiN(×10,000)

을 가지고 있으며 양호한 모양을 지니고 있는 것을 알 수 있다.

인서트는 SNGN1207의 세라믹공구와 TiN 코팅세라믹공구를 사용하였으며 챔퍼(Chamfer)의 크기는 -25°×0.2mm를 사용하였으며 공구홀더는 어프로치각이 15°인 CSHNR2520을 사용하였다. 세라믹공구의 물성치는 Table 1과 같고 TiN 코팅 세라믹공구의 사양은 Table 2와 같다.

### 3.3 공작물

TiN 코팅 세라믹공구에 의해 나타나는 절삭저항을 조사하기 위하여 실험한 소재는 탄소공구강(STC3)으로서 화학적 성분은 Table 3과 같다. 그리고 Table 4와 같은 조건으로 열처리하여 담금질하였다.

탄소공구강의 크기는 70×205mm이고 이것을 1차 가공 후 열처리하였고, 또한 고경강의 환봉을 선반의 주축에 고정하여 전길이에 대하여 가공을 실시하여 공작물의 중

**Table 3 Chemical compositions of work material**

Workpiece	Chemical compositions, %							
	C	Mn	P	S	Si	Cr	Cu	Ni
STC3	1.02	0.39	0.03	0.002	0.24	0.13	0.10	0.05

**Table 4 Heat treatment and hardness of STC3**

Workpiece	Hardness (HRC)	Quenching temperature (°C)	Tempering temperature (°C)	Heat treatment
STC3	58~62	850	180	Tempering in electric furnace after salt bathing

심과 척의 중심을 일치시켰다.

### 3.4 실험방법

본 논문에서는 세라믹공구와 TiN 코팅 세라믹공구를 사용하여 고경강인 탄소공구강을 선삭가공시 초기파손(early fracture)이 일어나지 않는 범위에서 실험하였다.<sup>(8-9)</sup>

그리고 절삭저항을 측정하기 위하여 절삭속도, 이송, 절삭깊이의 관계인 절삭조건과 노즈 반지름, 최대 절삭두께, 절삭폭에 대하여 실험하였다. 실험에 사용한 절삭조건은 Table 5와 같고 데이터는 같은 조건에서 4회 실험하여 평균값을 취했다.

## 4. 결과 및 고찰

### 4.1 절삭속도의 영향

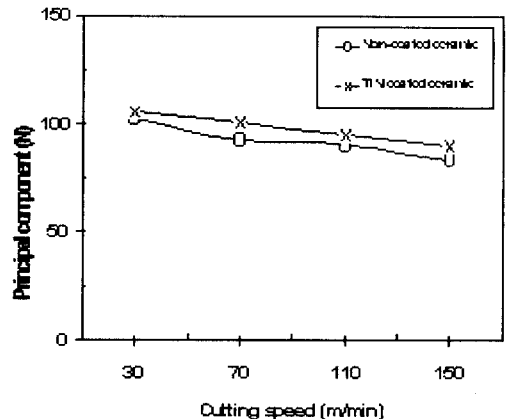
세라믹공구와 TiN 코팅 세라믹공구에 미치는 절삭속도의 영향을 규명하기 위하여 노즈 반지름 범위 내에서 이송과 절삭깊이를 일정하게 하고 실험을 하였다. 이때의 절삭조건은 노즈 반지름을 0.8mm, 이송을 0.1mm/rev, 절삭깊이를 0.15mm로 유지하고 절삭속도를 30m/min, 70m/min, 110m/min 및 150m/min으로 변화시켰다.

그리고 절삭공구별로 절삭저항을 측정하여 나타나는 절삭저항의 분력들은 Fig. 5, Fig. 6 및 Fig. 7에 나타내었다. 일반적인 선삭에서는 절삭저항 중에서 주분력이 가장 크고 이송분력과 배분력은 주분력의 30~50%정도로 작게 작용한다. 절삭깊이가 노즈 반지름보다 큰 일반적인 절삭 조건에서는 절삭두께나 절삭폭이 증가하면 절삭면적 증

**Table 5 Cutting test condition**

	1	2	3	4	5
Insert	Non-coated ceramic tools TiN coated ceramic tools				
V(m/min)	10-200 m/min				
f(mm/rev)	0.15 0.12 0.08 0.04	0.1	0.17	0.20 0.17 0.15 0.13	0.20 0.17 0.13 0.10
d(mm)	0.15	0.15	0.4	0.226 0.299 0.387 0.579	0.287 0.300 0.310 0.330
hm(mm)				0.124	0.142 0.124 0.098 0.079
b(mm)				0.717 0.800 0.898 1.098	0.800
r(mm)	0.8	0.8	0.8 1.2 1.6 2.0	0.8	0.8

1. Cutting force with various feeds
2. Cutting force with various cutting speeds
3. Cutting force with various nose radius
4. Cutting force with various cutting widths
5. Cutting force with various maximum cutting thicknesses



**Fig. 5 Principal component with cutting speed**

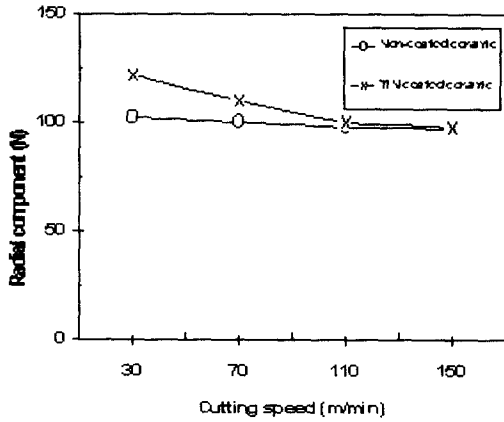


Fig. 6 Radial component with cutting speed

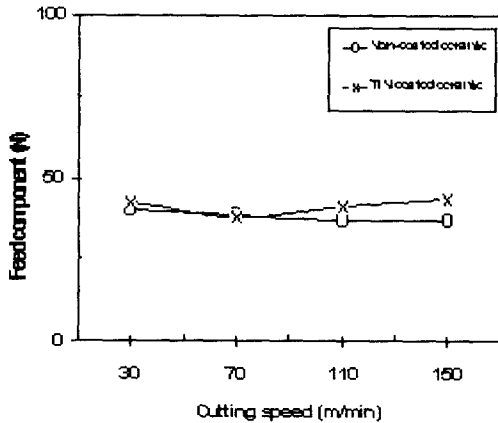


Fig. 7 Feed component with cutting speed

Fig. 6의 배분력은 TiN 코팅 세라믹공구가 크게 나타났고, 세라믹공구의 배분력이 작게 나타났으며, Fig. 7의 이송분력 성분도 같은 경향을 가졌다. 이와 같이 주분력, 배분력, 이송분력의 모든 성분이 TiN 코팅 세라믹공구에서 절삭저항이 크게 나타났다. TiN 코팅 세라믹공구도 일반적인 실험결과와 일치함을 알 수 있었다.<sup>(11)</sup> 그 중에서도 배분력은 TiN 코팅 세라믹공구와 세라믹공구의 차이가 심하였으며, TiN 코팅 세라믹공구가 크게 나타난다. 이와 같은 현상은 코팅의 효과로 인한 결과라고 생각된다.

#### 4.2 이송의 영향

이송의 변화가 세라믹공구와 TiN 코팅 세라믹공구에 미치는 절삭저항의 영향을 알아보기 위하여 노즈 반지름을 0.8mm, 절삭속도를 100m/min, 절삭깊이를 0.15mm로

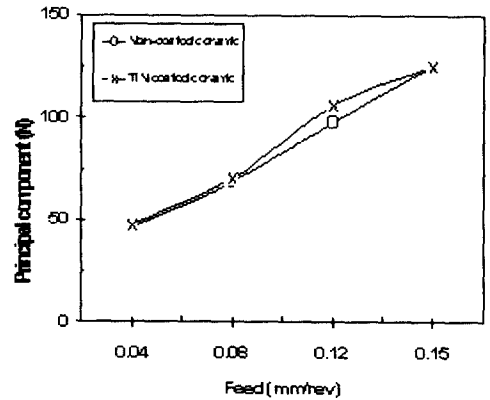


Fig. 8 Principal component with feed

가로 인하여 절삭저항의 절삭성분은 거의 비례적으로 상승하게 된다.<sup>(10-11)</sup>

그러나 본 고경강의 절삭에서는 배분력이 주분력보다 크게 작용하는 경향이 있고 그 다음 주분력이 크게 작용하였으며, 이송분력이 작게 작용하는 특이한 현상이 발생하였다.

Fig. 5, Fig. 6 및 Fig. 7에서 세라믹공구와 TiN 코팅 세라믹공구는 절삭속도가 증가할수록 절삭저항은 다소 감소하는 경향으로 나타났다. 그리고 절삭속도 변화에 따른 각 성분별 절삭저항을 분석하여 보면 Fig. 5의 주분력 성분은 TiN 코팅 세라믹공구가 더 크고, 세라믹공구의 성분이 작게 나타나는 경향을 보였다.

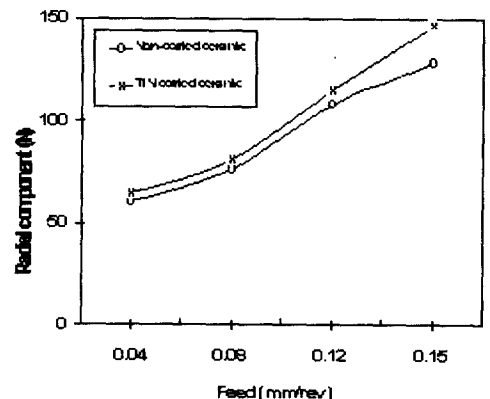


Fig. 9 Radial component with feed

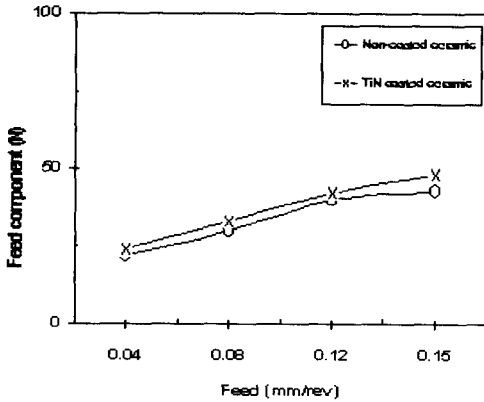


Fig. 10 Feed component with feed

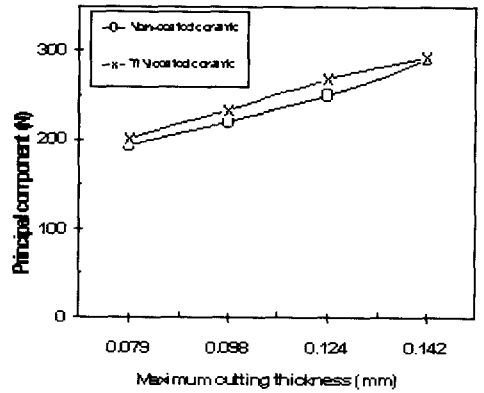


Fig. 11 Principal component with maximum cutting thickness

일정하게 유지하고, 이송을 0.04mm/rev, 0.08mm/rev, 0.12mm/rev 및 0.15mm/rev로 변화시키면서 절삭가공 하였을 때 이송변화에 대한 절삭저항의 관계를 공구별로 Fig. 8, Fig. 9 및 Fig. 10에 나타냈다.

이송이 증가하면 절삭저항은 증가하였으며, 절삭성분의 크기도 배분력이 가장 크고 주분력, 이송분력 순으로 나타났다. 배분력은 TiN 코팅 세라믹공구가 크게 나타났으며, 세라믹공구가 작게 작용하였다. 주분력, 이송분력도 위와 같은 동일한 경향으로 작용하였다. 전반적으로 TiN 코팅 세라믹공구가 주분력과 이송분력에서는 적은 차이를 보이지만 배분력 성분에서는 뚜렷한 차이를 나타내고 있었다.

### 4.3 최대절삭두께의 영향

Fig. 11, Fig. 12 및 Fig. 13은 절삭폭을 일정하게 하고 최대절삭두께를 변화시켜 절삭저항 관계를 나타낸 그림이다. 절삭조건은 노즈 반지름을 0.8mm로 하고, 이송을 0.1mm/rev, 0.13mm/rev, 0.17mm/rev 및 0.20mm/rev로 하였고 절삭깊이를 0.330mm, 0.310 mm, 0.300 mm 및 0.287mm로 하였다.

그리고 이송과 절삭깊이를 조합하여 절삭폭을 0.800mm로 일정하게 하고, 최대절삭두께를 0.079mm, 0.098mm, 0.124mm 및 0.142mm인 4단계로 구분하였다. 절삭속도는 초기파손이 일어나지 않은 임계절삭속도 (critical cutting speed)가 낮은 영역을 기준으로 하여 절삭속도를 35m/min으로 하였다.<sup>(6)</sup> 절삭저항을 측정하여 분석한 결과 세라믹공구와 TiN 코팅 세라믹공구의 절삭저항의 크기는 주분력과 배분력이나 동일한 경향을 나타내고 이송분력은 작게 나타났다.

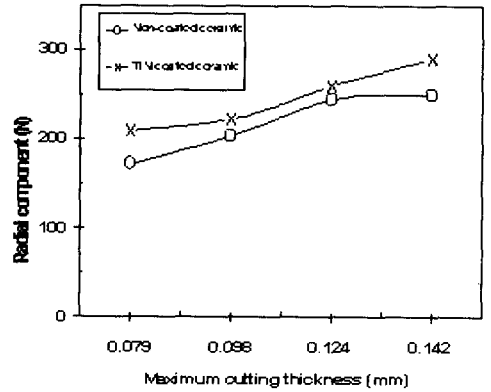


Fig. 12 Radial component with maximum cutting thickness

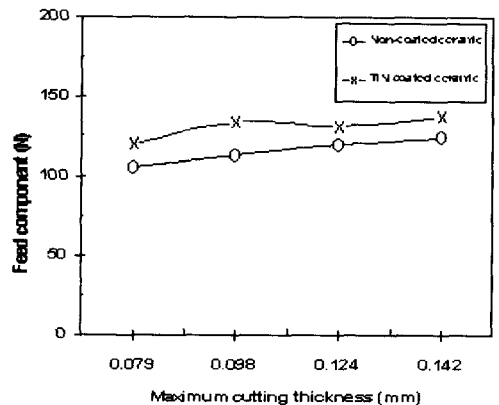


Fig. 13 Feed component with maximum cutting thickness

그 절삭저항의 크기는 세라믹공구가 105N에서 290N 사이의 절삭력 데이터를 얻을 수 있었으며, TiN 코팅 세라믹공구는 120.3N에서 293.75N사이의 절삭력 데이터를 얻을 수 있었다. 절삭깊이가 노즈 반지름보다 큰 경우의 일반적인 절삭조건의 데이터에서는 절삭두께나 절삭폭이 증가하면 절삭단면적의 증가로 인하여 모든 절삭분력이 거의 비례적으로 상승하게 된다.<sup>(10-11)</sup>

그러나 Fig. 11, Fig. 12 및 Fig. 13의 절삭저항 특성은 거의 비례적으로 완만한 증가를 나타내며 이송분력은 거의 일정한 값을 갖는 경향을 나타내고 있다. 최대절삭두께가 증가하면 절삭단면적의 증가에도 불구하고 이송분력에 영향을 주지 못하는 것은 절삭폭이 일정한 상태에서 절삭깊이 감소에 의해서 유효 어프로치각이 증가하기 때문이라고 판단되며 TiN 코팅 세라믹공구의 이송분력이 더 크게 나타난다. 그리고 Fig. 11의 주분력의 그래프를 보면 TiN 코팅 세라믹공구의 주분력 성분이 크게 나타나고 세라믹공구의 주분력 성분이 작게 나타났다. Fig. 12과 Fig. 13의 배분력, 이송분력에서도 같은 경향을 보였으며, 특히 배분력에서는 TiN 코팅 세라믹공구와 세라믹공구사이의 차가 크게 나타났다. 이와 같은 현상은 코팅에 기인한 것으로 판단된다.

#### 4.4 절삭폭의 영향

Fig. 14, Fig. 15 및 Fig. 16은 노즈 반지름을 0.8mm로 하고 최대절삭두께를 0.124mm로 일정하게 하고 절삭깊이와 이송을 조합하여 절삭폭을 변화시켜 절삭저항을 측정하였다. 위의 절삭조건은 절삭깊이가 0.579mm, 0.387mm, 0.299mm 및 0.226mm하였고, 이송은 0.13mm/rev, 0.15mm/rev, 0.17mm/rev 및 0.2mm/rev으로 하였다.

이 조건으로부터 얻어지는 절삭폭의 변화는 0.717 mm, 0.800mm, 0.898mm 및 1.098mm이다. 절삭속도는 임계절삭속도보다 낮은 영역을 기준으로 선정하였다. 이때의 절삭속도는 60m/min이다. 세라믹공구의 절삭저항은 86.8N에서 311.3 N사이이고 TiN 코팅 세라믹공구의 절삭저항은 88.8N에서 363.8N사이로 나타났다. 이들의 절삭저항 특성은 절삭폭의 증가에 따라 주분력과 이송분력은 증가하는 경향을 나타내고 배분력은 절삭폭 변화와 관계없이 거의 비슷한 값을 갖는 것으로 나타났다. 주분력과 이송분력의 증가는 절삭폭의 증가로 인하여 절삭면적이 증가하여 상승한 것으로 보이며 배분력이 거의 비슷한 것은 최대 절삭두께가 일정하기 때문이라고 판단되며, 절삭깊이의 증가에 따라 유효어프로치각이 감소하기 때문이

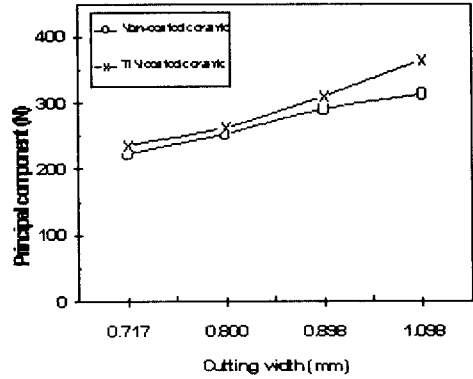


Fig. 14 Principal component with cutting width

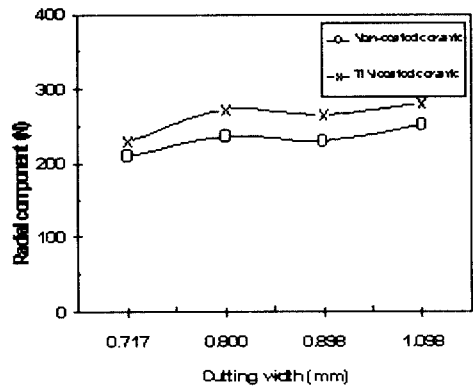


Fig. 15 Radial component with cutting width

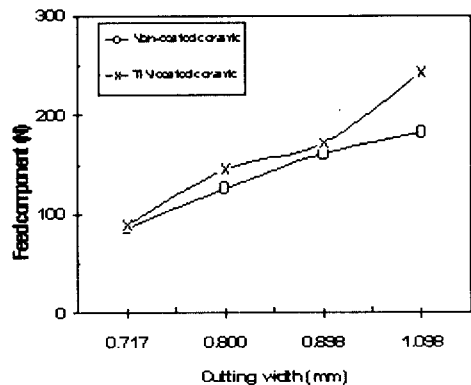


Fig. 16 Feed component with cutting width

라고 판단된다. 앞절에서 설명된 임계절삭속도는 절삭폭의 영향을 받지 않고 최대절삭두께에 영향을 받기 때문에 배분력이 크게 나타난다고 판단된다.

그리고 TiN 코팅 세라믹공구가 세라믹공구보다 더 크게 절삭저항이 나타나는 것은 코팅으로 인한 것으로 판단된다. 절삭폭의 변화에서도 TiN 코팅 세라믹공구가 모든 절삭저항의 성분에서 작은 차를 이루면서 크게 나타났다. 이와 같은 절삭저항의 차이는 코팅에 기인한 것으로 생각된다.

#### 4.5 노즈 반지름 변화의 영향

Fig. 17, Fig. 18 및 Fig. 19는 이송이 0.17mm/rev, 절삭깊이 0.4mm, 절삭속도 35m/min으로 작용할 때 노즈 반지름의 변화에 따른 절삭저항 값을 측정하여 도시한 것이다. 선정된 절삭속도는 임계절삭속도가 낮은 영역을 기준으로 하여 초기파손이 발생하지 않는 35m/min으로 하였다. 노즈 반지름을 0.8mm, 1.2mm, 1.6 mm 및 2.0mm로 변화시켰을 때 세라믹공구는 147.5N에서 369.3N사이이고 TiN 코팅 세라믹공구의 절삭저항은 160N에서 380N사이로 나타났다.

세라믹공구 및 TiN 코팅 세라믹공구의 절삭저항을 분석하면 노즈 반지름의 증가에 따른 절삭분력의 변화는 주분력이 증가하는 경향으로 나타났지만 거의 변화가 없고 배분력은 완만한 기울기를 가지며 증가하였다. 그러나 이송분력은 감소하는 경향을 알 수 있다. 절삭단면의 형상에서 노즈 반지름이 증가하면 절삭면적은 동일하지만 유효 어프로치각은 증가하고 최대절삭두께가 감소하게 된다. 또한 공구의 노즈 반지름의 변화는 역학적으로 공구수명을 크게 좌우하고 노즈 반지름이 작게 되면 절삭날선단에 집중마멸이 생기고 열에 강한 비교적 단단한 절삭 공구재는 치핑이나 결손에 의하여 공구수명에 이른다.

그러나 노즈 반지름이 증가하면 절삭날 부위의 강도가 상대적으로 증가하여 절삭 시작점에서 절삭날의 접촉충격을 감소시키는 역할을 한다. 그로 인하여 노즈 반지름이 증가하면 임계절삭속도가 상승한다. 노즈 반지름의 증가에 따른 칩의 최대절삭두께의 감소에도 불구하고 배분력이 증가하는 것은 동일한 면적에서 노즈 반지름 증가에 따른 공구의 유효 어프로치각이 증가하기 때문이라 판단된다. 노즈 반지름이 작으면 배분력이 작고 노즈 반지름이 커지면 배분력이 커지고, 이송이 큰 절삭의 경우는 채터진동의 영향이 없는 범위내에서 노즈 반지름이 큰 공구를 선택하는 것이 유리하다고 판단할 수 있다.

공구별 절삭저항 성분을 분석하면 주분력은 세라믹공구와 TiN 코팅 세라믹공구와의 차가 거의 없으나, Fig. 18

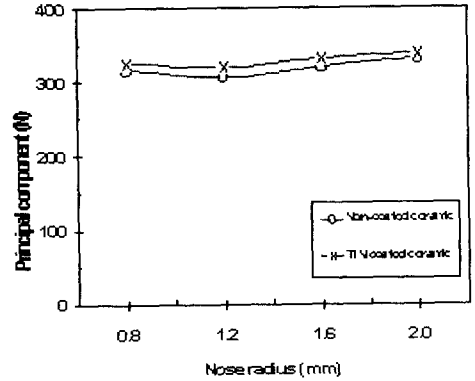


Fig. 17 Principal component with nose radius

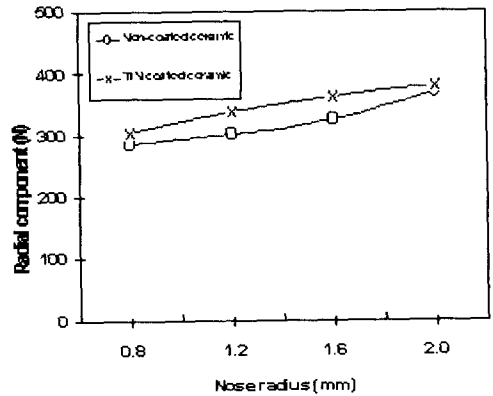


Fig. 18 Radial component with nose radius

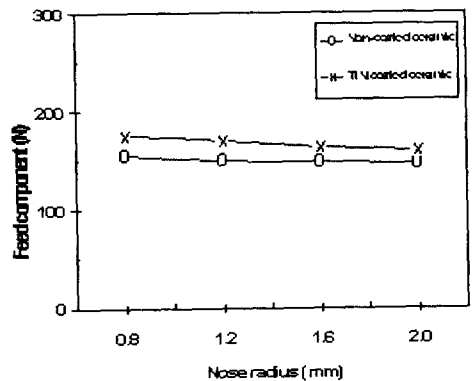


Fig. 19 Feed component with nose radius



와 같이 배분력에서는 TiN 코팅 세라믹공구와 세라믹공구사이의 차가 심하게 나타났으며, Fig. 19의 이송분력에서는 거의 비슷하며 각 공구별 절삭저항의 이송분력 차가 심하지 않았다. 노즈 반지름은 클수록 기하학적으로 표면 거칠기는 양호하지만 절삭저항 중 배분력이 커져 채터진동에 주의를 요한다. 절삭공구의 어프로치각도 공작물과 접촉하는 것을 결정하는 각도이기 때문에 날끝 강도를 결정한다. 또 어프로치각은 절삭깊이와 이송이 같을 경우, 또는 클수록 칩두께는 작아지기 때문에 비절삭저항이 증대할 가능성은 있지만 장점으로서는 이송을 빨리 할 수 있는 경우도 있다. 일반적으로 강의 선삭에서는 절삭저항 중 주분력이 가장 크고 이송분력과 배분력이 작게 작용한다. 탄소공구강의 선삭에서는 배분력이 크거나, 또는 주분력 및 배분력의 크기가 거의 같은 경향을 보이고 이송분력이 상대적으로 작게 작용하는 특이한 현상이 발생한다.

실험결과를 종합하여 보면 절삭속도의 변화, 이송의 변화, 최대절삭두께의 변화, 절삭폭의 변화, 노즈 반지름의 변화를 시켜 실험한 결과 TiN 코팅으로 인하여 치핑이나 초기파손이 억제되어 임계절삭속도가 향상되는 이점을 얻었다.<sup>6)</sup> 반면에 절삭저항이 약간 크게 나타나는 이유는 Fig. 2와 Fig. 3에서처럼 Ti 입자가 떨어져 나가 공구의 표면에 부착된 물방울 모양의 드롭렛(droplet)에 의하여 공구의 표면이 거칠어져 절삭저항이 크게 나타났다고 판단된다. 그러므로 TiN 코팅으로 인하여 절삭저항이 커진 반면에 치핑이나 초기파손이 억제되어 임계절삭속도가 향상되는 이점을 갖는다는 결과를 얻었다.

## 5. 결론

세라믹공구와 TiN 코팅 세라믹공구의 절삭저항 특성을 조사하기 위하여 절삭조건을 두 종류로 나누어 실험하였으며, 하나는 기존의 절삭인자인 절삭속도, 이송 및 절삭깊이이고, 다른 하나는 노즈 반지름을 갖는 기하학적 단면에서 최대절삭두께와 절삭폭의 관계를 나타내는 절삭인자인데 이들로부터 얻어지는 절삭저항을 비교하여 고찰한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다. 세라믹공구의 성능을 개선하기 위하여 물리적증착법(PVD)인 AIP법을 사용하여 TiN 코팅 세라믹공구를 제작 개발하였고 TiN 코팅으로 인하여 치핑이나 초기파손이 억제되어 임계절삭속도가 향상되는 장점을 갖는 반면에 TiN 코팅 세라믹공구는 세라믹공구에 비하여 절삭저항이 모두 크게 나타났다. 그리고 노즈 반지름이 커질수록 이송분력은 감소하고 배분력이 증가하는 것은 노즈 반지름 증가에

따른 공구 유효 어프로치각이 증가하기 때문이라고 판단되었다. 그리고 TiN 코팅 세라믹공구와 세라믹공구는 절삭속도가 증가하면 절삭저항은 감소하는 경향으로 나타나고 열처리 경화된 탄소공구강(STC3)을 선삭시 노즈 반지름 안에서 절삭저항이 주분력과 배분력의 크기가 같거나 배분력이 더 크게 나타나고 이송분력은 작게 나타나는 결론을 얻었다.

## 참고 문헌

- (1) Kumabe J., Daimon, M. and Taniguchi, O., 1970, "Study on Lathe Turning of Carbon Steel Quenched", JSPE, Vol. 36, No. 9, pp. 595~601.
- (2) R. Nair, K. Danai and S. Malkin, 1992, "Turning Process Identification through Force Transient", J. of Engineering for Industry, Vol. 114, pp. 1-7.
- (3) Narutaki, N., Yamane, Y. and Takeuchi, M., 1979, "Wear of CBN Cutting Tools", JSPE, Vol. 45, No. 2, pp. 201~207.
- (4) Sakamoto, M. and Matsuno, J., 1980, "On the Light Cutting of the Hardened Steel", JSPE, Vol. 46, No. 8, pp. 77~82.
- (5) Suh, N.P., 1980, "Coated Carbides-Past Present and Future", Proc. 4th. Int. Conf. Prod. Eng., pp. 118-143.
- (6) Takeyama, H., Ono, T., Miyasaka, K., 1967, "Study on Surface Roughness in Turning", JSPE, Vol. 33 No. 10, pp. 28~34.
- (7) Young, H.Y., Mathew, P. and Oxely, P.L.B., 1987, "Allowing for Nose Radius Effects in Predicting the Chip Flow Direction and Cutting Forces in Bar Turning", Proc. Int. Mech. Eng. Part C., Vol. 201, No. 3, pp. 213~226.
- (8) 이명재, 유봉환, 1998, "세라믹공구와 TiN 피복 세라믹공구의 초기파손에 관한 비교연구", 한국공작기계학회, 제7권, 제4호, pp. 123~129
- (9) 이명재, 1999, "선삭에서 피복 세라믹공구의 절삭저항 특성", 숭실대학교 박사학위 논문
- (10) Nakayama, K. and Tamura, K., 1965, "Size Effect in Metal Cutting Force", JSPE, Vol. 31, No. 3, pp. 240~249.
- (11) Nakayama, K. and Arai, M., 1976, "On the Storage of Metal Cutting Force", Annals of the CIRP, Vol. 25, No. 1, pp. 13~18.