

지르코늄 코팅공구의 절삭특성

설한욱*, 김주현⁺

(논문접수일 2005. 11. 6, 심사완료일 2006. 1. 4)

Cutting Characteristics of the ZrN Coated Tool

Han-Wook Seol*, Joo-Hyun Kim⁺

Abstract

Zirconium is widely applied in industrial area. In this study, the experiments are performed to investigate the differences in cutting characteristics of zirconium coated material which deposited on cutting tool using physical vapor deposition(PVD). For comparison, TiN coated tool is used to compare with zirconium coated tool. Experimental results were compared for tool wear, surface roughness and cutting force. The tool wear of PVD coated bites is affected by the various cutting conditions. This new stuff "zirconium coated tool" wears 33% less and improves surface roughness 23% more in various cutting conditions. Cutting force is analyzed by using various workpiece, and the research strongly confirms that "zirconium" remains better condition than "titanium". As a result "zirconium" coated tool can be performed far better than "titanium" coated tool on metal cutting.

Key Words : Tool wear(공구마모), Surface roughness(표면 거칠기), Zirconium(지르코늄)

1. 서론

최근 고성능의 절삭기계들과 여러 가지 성질이 우수한 신소재들이 계속 개발되어짐에 따라 효과적인 절삭작업을 하기 위하여 여러 가지 코팅공구들이 개발되어 지고 있다.

이러한 코팅공구의 사용으로 가공정밀도 향상, 가공시간 단축, 제조비용절감 등의 효과가 있다.

절삭공구의 재료는 주로 고속도강, 초경합금, 세라믹, CBN 등이 사용되고 이들을 이용한 절삭가공 시에는 내열성, 내마모성, 화학적 안정성 등이 더욱 더 요구된다. 이러한 요구를 충족시키기 위하여 여러 가지 방법의 코팅기술과 코팅공구가 연구되고 있다.

코팅공구에는 여러 가지 종류가 있는데 이들은 절삭성과 공구수명에 좋은 결과를 보여준다⁽¹⁾.

* 국민대학교 자동차공학전문대학원

⁺ 교신저자, 국민대학교 기계자동차공학부 (kim@kookmin.ac.kr)

주소: 136-702 서울시 성북구 정릉동 861-1

코팅재료로는 TiC, TiCN, Al₂O₃ 등이 있고, 코팅층의 두께는 통상 5~10 μ m 정도이며, 여러 가지 방법으로 코팅이 이루어진다. 그 방법으로 전해도금/화학도금, CVD (Chemical Vapor Deposition), PACVD(Plasma Assisted Chemical Vapor Deposition)과 PVD(Physical Vapor Deposition)법이 있다.

이렇게 코팅된 공구의 절삭특성을 비교하는 연구와 절삭 가공 조건에 따른 코팅공구의 특성을 비교하는 연구가 주로 이루어지고 있다⁽²⁾.

지르코늄코팅재료(ZrN)는 금색에 가까운 색을 가지며 높은 열적, 화학적 특성과 높은 경도, 낮은 전기적 저항성을 가져 절삭공구, 장식용품, 생체 및 의료용등으로 많이 사용된다⁽⁴⁾. ZnN을 물리증착법(PVD)으로 코팅이 될 경우 실제 경도보다 높은 값을 가지며, 내마모성과 고온경도가 우수하여 그 응용 연구가 진행되고 있고^(5,6), 티타늄코팅재료(TiN)는 내마모성과 내식성이 뛰어나 절삭공구, 금형등 일반적인 코팅에 많이 사용된다⁽³⁾. 이 우수한 코팅재료들을 세라믹(Cermet)공구에 코팅하여 절삭을 하는데 세라믹(Cermet)는 Ceramic과 Metal의 결합으로 이루어져 높은 내열성과 고속 가공에 사용이 가능하고 화학적 안전성과 높은 마모저항으로 공작물에 좋은 표면 거칠기를 보인다⁽⁷⁾. 이러한 코팅공구는 철계금속 뿐 아니라 비철계금속인 알루미늄과 구리합금 등 다양한 종류의 재료를 가공 시 많이 사용한다.

특히, 비철계금속인 알루미늄합금은 난삭재이지만 일반 철보다 가벼우면서 각종 화학작용에 대한 내부식성, 저온 강도, 높은 열 및 전기 전도도, 성형성이 좋으며 인체에 무해하고 비자성을 띠는 물질로 자동차, 우주 항공 산업, 건축재료 및 원재료등 많은 용도로 사용되고 있으며⁽¹⁾, 철계금속이면서 난삭재로 알려진 스테인리스강은 대표적인 오스테나이트계 스테인리스강으로 우수한 내부식성, 성형성, 내열성, 저온강도 등을 갖는 난삭재이지만 많은 산업현장에서 요구되는 성질을 가지고 있어 화학, 건축, 자동차, 일반산업 등에서 보편적으로 사용되고 있다.

일반적으로 스테인리스강의 절삭 시 공구수명이 짧고 칩이 엉켜져 표면이 거칠고 좋은 치수정밀도를 얻기 어렵다고 알려져 있으나 절삭가공에서 많이 사용되어지는 재료이기 때문에 새로운 절삭 데이터가 요구되어지고 연구되어지고 있다⁽⁸⁾.

본 연구의 목적은 선삭가공 시 지르코늄질화물로 코팅된 인서트공구의 기계적 성질을 분석하기 위하여, 티타늄질화물로 코팅된 공구와 비교실험 하는 것이다. 실험은 알루미늄합금과 스테인리스강을 CNC선반을 이용하여 절삭속도를

변화시키면서 일정한 절삭 길이에 따른 공구마모, 표면 거칠기와 절삭력 데이터를 비교, 측정하여 각각의 코팅공구에 따른 절삭특성을 알아보고자 한다⁽⁹⁾.

2. 실험장치 및 실험방법

2.1 실험장치

본 실험은 선삭가공에서 각각 2가지 종류의 코팅공구와 피삭재로 절삭속도에 따른 코팅공구의 마모, 절삭력, 표면거칠기를 비교하기 위해 Table 1과 같은 실험 장치를 사용하였다.

2.2 절삭공구 및 피삭재

본 실험에서 경-중절삭에 적합한 CNMG- 120404 CN200 세라믹(Cermet)공구에 PVD법 중 이온주입법(Ion Plating)으로 ZrN과 TiN을 0.4 μ m의 두께로 코팅을 실시하여 사용하였다. 노즈 반경은 0.4mm이다. 공구홀더는 외경 선삭용 L형 PCLNR2525-M12로 옆날각(Approach angle)과 앞날각(End cutting edge angle)이 각각 5°이고 절입각(Entering angle)은 95°인 홀더를 사용하였다. 실험용 피삭재로는 직경 60mm, 길이가 130mm인 알루미늄합금(Al2024)과 스테인리스강(SUS304)를 사용하였다.

2.3 실험방법

본 실험은 선삭에서 사용하는 코팅공구가 각각의 절삭속도와 절삭 길이에 따라 일어나는 공구마모를 실험, 분석하는 것으로 절삭속도를 150, 300m/min으로 변화시켰고, 이송을 0.1mm/rev, 절삭 깊이를 1mm로 고정하여 실험을 하였다. 이때, 각각의 절삭 깊이를 스테인리스강 절삭 시에는 1~8km

Table 1 Instruments and specifications

Instrument	Company	Specification
Turning	Daewoo	PUMA150G
Dynamometer	KISTLER	9257 Type
Software	National Instruments	LabView 7.0
Charge Amplifier	KISTLER	5019 Type
Scanning Electron Microscopy	HITACHI	S-4700
Surface Roughness Tester	Taylor Hobson	Form Talysurf Series2

Table 2 Cutting conditions

	SUS304	Al2024
Cutting speed(/min)	150, 300	
Feed rate(m/rev)	0.1	
Depth fo cut(mm)	1	
Cutting length(km)	1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8	4, 6, 8, 10, 12

까지 각 1km마다 정지하여 절삭 길이에 따른 공구의 마모 상태를 확인하였고, 알루미늄합금 절삭 시에는 4km~12km까지 각 2km마다 정지하여 공구의 마모를 확인하였다. 모든 실험은 5회 반복하였다.

이 절삭조건을 Table 2에 나타내었다.

공구마모는 HITACHI사의 Scanning Electron Micro scope(S-4700)를 이용하여 플랭크 마모(Flank wear)를 측정하였다. 또한 표면 거칠기는 Taylor Hobson사의 Surface Roughness Tester를 사용하여 중심선 평균 거칠기(Ra)를 측정하였다.

공구와 재료의 변화에 따른 절삭력 측정 장비로는 KISTLER사의 공구동력계(9257 Type)를 사용하였다. 측정된 데이터는 Charge Amplifier(5019 Type)를 통하여 신호가 증폭이 되어 A/D 변환기를 통해 데이터가 수치화 되고, 이것은 다시 Lab VIEW를 통해 PC로 저장되어 진다. 이때, 수치화된 데이터를 통해 주분력(Principal force), 이송분력(Feed Force), 배분력(Thrust force)을 분석하였다.

3. 실험결과 및 고찰

스테인리스강의 절삭 길이는 1km부터 8km까지 각 1 km마다 각각의 공구와 절삭속도를 변화시키며 실험하였고, 알루미늄합금(Al2024)은 4km부터 12km까지 각 2km마다 각각의 공구와 절삭속도를 변화시키며 실험하였다. Table 3은 절삭길이에 따른 절삭조건을 나타내었다.

3.1 공구마모

공구마모는 주사전자현미경(Scanning Electron Microscopy)을 이용하여 각각의 절삭 길이에 따라 측정하였다.

Fig. 1은 공구마모의 차이를 그래프로 절삭속도와 절삭길이 가 늘어감에 따라 공구의 플랭크 마모가 점점 증가하는데 스테인리스강을 절삭속도 150m/min에서 절삭 시 ZrN과 TiN공구는 절삭길이의 증가에 따라 마모가 증가하지만 많은 차이를 보이지 않았다.

Table 3 The cutting conditions according to cutting length

coating	SUS304				Al2024			
	ZrN		TiN		ZrN		TiN	
Cutting speed (m/min)	150	300	150	300	150	300	150	300
Cutting length (Km)	1	1	1	1	4	4	4	4
	2	2	2	2	6	6	6	6
	3	3	3	3	8	8	8	8
	4	4	4	4	10	10	10	10
	5	5	5	5	12	12	12	12
	6	6	6	6				
	7	7	7	7				
	8	8	8	8				

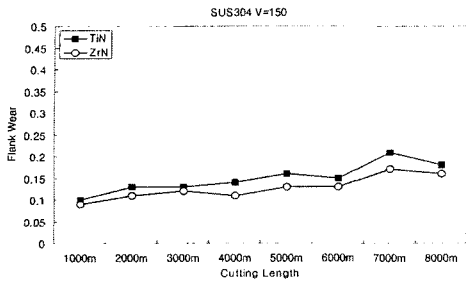
절삭속도 300m/min에서는 절삭길이가 증가하면서 공구의 마모가 3km까지는 큰 변화를 보이지 않다가 3km 후 부터는 공구마모의 차이가 점점 증가하면서 8km 절삭 시에는 ZrN과 TiN공구의 마모 차이가 0.17mm로 나왔다.

알루미늄합금을 절삭속도 150m/min에서 절삭 시 스테인리스강을 150m/min에서 절삭한 결과와 비슷하게 마모의 차이가 많이 나타나지 않았고, 절삭속도 300m/min에서는 스테인리스강을 300m/min에서 절삭한 것과 달리 마모의 차이는 6km 이후로부터 점점 커져가는 것을 볼 수 있었으며, ZrN과 TiN공구의 마모의 차이는 0.24mm로 나왔다. 공구의 마모가 6km 이후에 두드러지게 나타나는 것은 피삭재가 스테인리스보다 연성인 알루미늄이어서 절삭 길이가 길어지면서 가공온도의 상승에 따른 공구마모가 진행이 된 것으로 보인다. Fig. 2 (a), (b)를 보면 같은 절삭길이에 다른 공구마모를 보여주는 사진으로 ZrN코팅공구의 마모가 TiN코팅공구보다 적음을 알 수 있다. 그래서 본 실험에서의 ZrN코팅공구가 절삭속도, 절삭길이, 피삭재의 변화를 주어도 TiN코팅공구보다 마모가 적게 일어난다는 것을 알 수 있다.

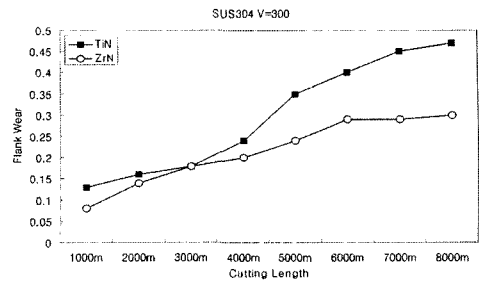
3.2 표면거칠기

절삭조건에 따라 절삭을 하고 난 후에 각각의 피삭재의 표면을 직접 측정하였으며, 표면 거칠기 값은 낮을수록 좋으며 그 값 또한 각각의 조건에 따라 다르게 나타났다. Fig. 3은 표면 거칠기(Ra) 값의 차이를 그래프로 나타내었다.

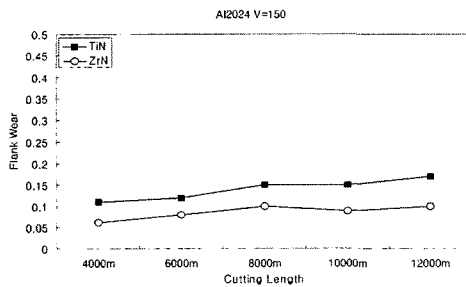
Fig. 3에서 스테인리스강의 표면 거칠기는 절삭속도 150m/min에서 절삭한 것이 300m/min에서 절삭한 표면보다 두 가지



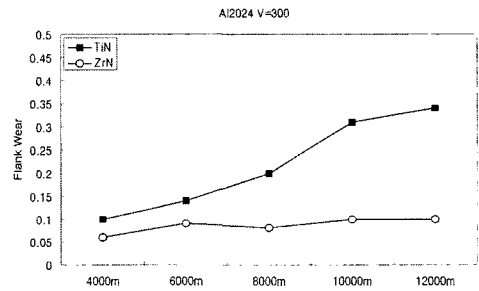
(a) SUS304, V=150m/min



(b) SUS304, V=300m/min

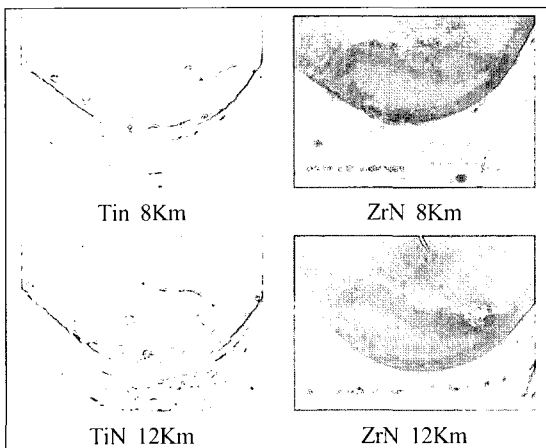


(c) Al2024, V=150m/min

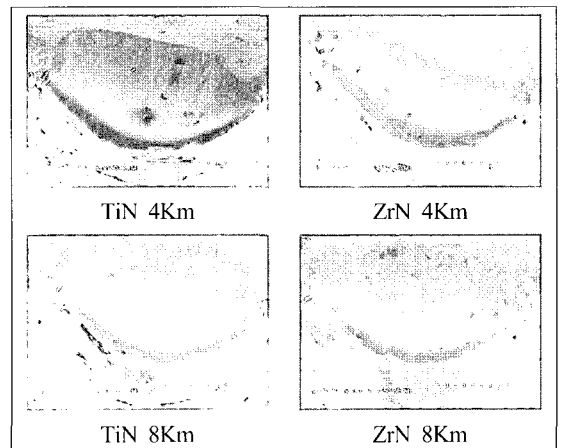


(b) Al2024, V=300m/min, (mm)

Fig. 1 Comparison of flank wears according to cutting length & speed



(a) Al2024 turning at 300m/min(×150)

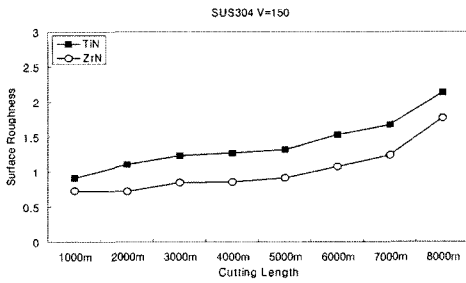


(b) SUS304 turning at 300m/min(×150)

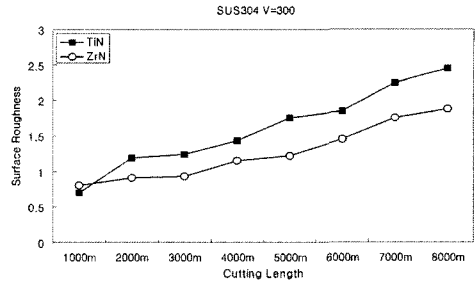
Fig. 2 SEM image of wear phenomena

공구가 모두 좋게 나왔으며, 알루미늄합금의 표면 거칠기는 스테인리스강과는 반대로 절삭속도 150m/min에서 절삭한 것 보다 300m/min에서 절삭한 것이 좋게 나온 것을 알 수가 있었다. 위의 그래프를 보면 측정된 값이 거의 모든 조건에서 ZrN코팅공구로 절삭한 피삭재의 표면이 TiN코팅공구로 절

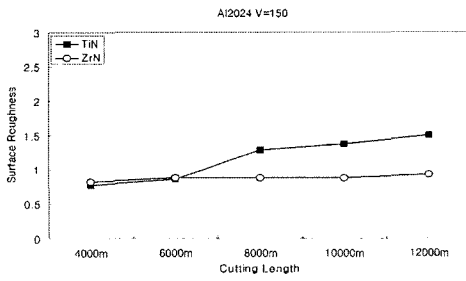
삭한 피삭재의 표면보다 대체적으로 좋게 나온 것을 볼 수 있으며, 최대 23% 정도 좋게 나왔다. 이것은 ZrN코팅공구의 공구마모가 TiN코팅공구보다 적게 나타났고, 그 결과, 표면 거칠기에도 공구마모의 영향이 미치는 것으로 사료된다.



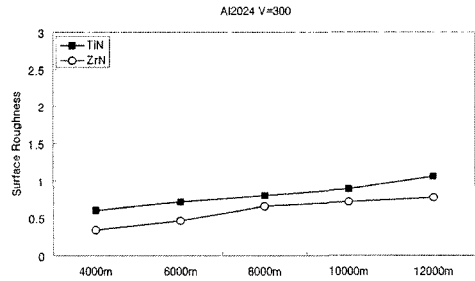
(a) SUS304, V=150m/min



(b) SUS304, V=300m/min

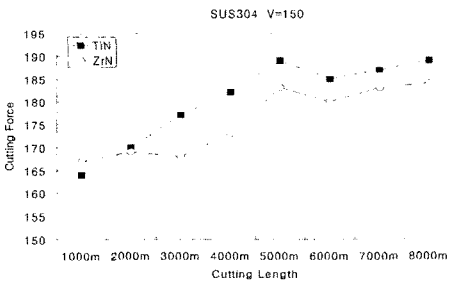


(c) Al2024, V=150m/min

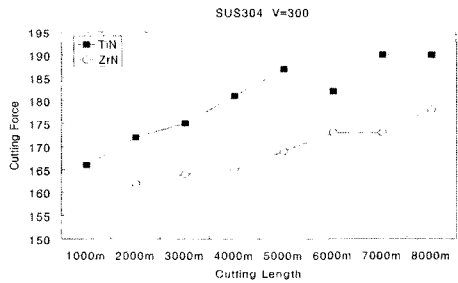


(b) Al2024, V=300m/min

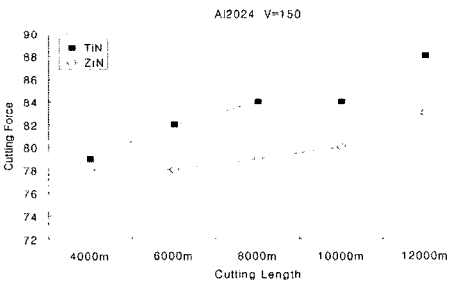
Fig. 3 Comparison of surface roughnesses according to cutting length & speed



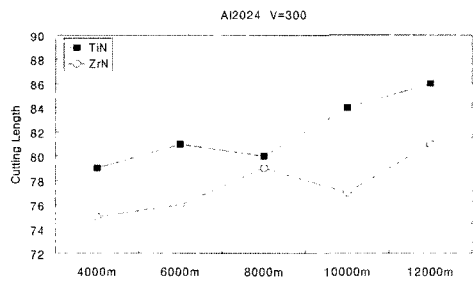
(a) SUS304, V=150m/min



(b) SUS304, V=300m/min



(c) Al2024, V=150m/min



(b) Al2024, V=300m/min, (N)

Fig. 4 Comparison of cutting force according to cutting length & speed

3.3 절삭력

Fig. 4는 절삭력 값의 차이를 그래프로 나타낸 것이다. 본 실험에서는 절삭 시 가장 큰 영향을 미치는 주분력을 비교하였다.

전체적인 Fig. 4를 보면 스테인리스강의 절삭 시 절삭력은 절삭속도 150m/min에서 절삭한 것과 300m/min에서 절삭한 것의 데이터에서 ZrN코팅공구가 두 가지 절삭속도에서 절삭력이 거의 다 적게 나왔으며, 알루미늄합금의 경우에는 재료가 연성이기 때문에 스테인리스강 보다 약 100N 정도 작은 절삭력이 측정되었다.

알루미늄합금의 절삭 시에도 ZrN코팅공구가 TiN코팅공구 보다 절삭력이 적게 나온 것을 볼 수가 있다. 이러한 결과는 공구마모가 절삭력에도 영향을 미치는 것으로 생각된다.

4. 결론

본 연구에서는 CNC선반에서 동일한 절삭 깊이와 이송속도 하에서 ZrN과 TiN코팅공구와 알루미늄합금과 스테인리스강을 사용하여 절삭속도의 변화에 따른 공구마모, 표면거칠기, 절삭력을 측정하고 비교분석하였으며, ZrN코팅공구가 절삭 공구로서의 적용가능성을 확인하기 위한 실험이었다. 이를 통하여 ZrN코팅공구의 특성에 대하여 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- (1) 코팅의 종류와 절삭속도의 변화에 따라서 공구마모가 많은 차이를 보였다. ZrN코팅공구가 가공속도에 따른 마모의 변화가 적음을 알 수 있었고, 마모가 최대 33% 정도 적게 일어나는 것을 볼 수 있었다.
- (2) 표면거칠기는 ZrN공구로 절삭한 피삭재의 표면이 TiN공구로 절삭한 피삭재의 표면보다 최대 23%가 향상됨을 볼 수 있었다. 스테인리스강을 가공 시 피삭재의 거칠기는 저속에서 좋은 결과를 보였지만, 알루미늄 합금을 고속으로 가공한 피삭재의 표면 거칠기가 더 좋은 결과가 나온 것으로 보아 연성인 재료를 고속으로 가공시 좋은 표면 거칠기를 가질 것으로 보인다.
- (3) 절삭력은 알루미늄합금이 스테인리스강 보다 연성인 재료이므로 약 100N 정도 적게 나왔고 절삭 길이가 길어지고 마모가 늘어감에 따라 절삭력도 증가 하는 것을 볼 수가 있지만, 전체적으로 ZrN코팅공구가 TiN코팅 공구 보다 적은 절삭력을 가지는 것을 알 수가 있었다.

- (4) 전체적인 공구마모, 표면거칠기, 절삭력을 비교하여 분석한 결과 ZrN코팅공구가 대부분의 조건에서 좋은 결과를 보였다. 그러므로 ZrN코팅공구의 사용이 제조 원가 절감, 생산성, 절삭품질의 향상이 기대된다.

참고 문헌

- (1) Serope, K., 1997, *Manufacturing Process for Engineering Matrics*, Wesley Longman, Inc., pp. 505~509.
- (2) Quinto, D. T., 1996, "Technology Perspective on CVD & PVD Coated Metal-Cutting Tools," *J. of Refractory Metals & Hard Materials*, Vol. 14, pp. 7~20.
- (3) Zeng, X. T., Zhang, S., Sun, C. Q. and Liu, Y. C., 2003, "Nanometric-layer CrN/TiN Thin Films: mechanical strength and thermal stability," *J. of Thin Solid Films*, Vol. 424, pp. 99~102.
- (4) López, G. and Staia, M. H., 2004, "High-temperature Tribological Characterization of Zirconium Nitride Coatings", *J. of Surface & Coatings Technology*.
- (5) Zhitomirsky, V. N., Grimberg, I., Boxman, R. L., Travitzky, N. A., Goldsmith, S. and Weiss, B. Z., 1997, "Vacuum Arc Deposition and Microstructure of ZrN-based Coatings," *J. of Surface & Coatings Technology*, Vol. 94~95, pp. 207~212.
- (6) Chieh, Y. C., Lo, W. Z. and Lu, F. H., 2005, "Microstructure Evolution of ZrN Films Annealed in Vacuum," *J. of Surface & Coatings Technology*.
- (7) Tönshoff, H. K. and Blawit, C., 1997, "Influence of Surface Integrity on Performance of Coated Cutting Tools," *J. of Thin Solid Film*, Vol. 308, pp. 345~350.
- (8) Akasawa, T., Sakurai, H., Nakamura, M., Tanaka, T. and Takano, K., 2003, "Effect of Free-cutting Additives on the Machinability of Austenitic Stainless Steels," *J. of Materials Processing Technology*, Vol. 143, pp. 66~71.
- (9) Song, C. S. and Kim, J. H., 2005, "Cutting Characteristics of Dry Turning Using Compressed Air", *KSMTE*, Vol. 14, No. 1, pp. 8~14.