

Ti(C,N)계 서메트 공구의 조성변화에 따른 절삭성능 및 신뢰도 분석

박준석* · 김성원** · 권원태† · 강신후***
(2002년 3월 13일 접수, 2002년 8월 8일 심사완료)

Effect of Composition on Cutting Characteristics and Reliability Analysis of Ti(C,N) Cermet Tool

June Seuk. Park, Seong-Won Kim, Won Tae Kwon and Shinhoo Kang

Key Words: Mechanical Properties(기계적 성질), Cermet Tool(서메트 공구), Flank Wear(플랭크 마멸), Cutting Force(절삭력), Acoustic Emission(음향방출)

Abstract

When WC and group IV elements are added to Ti(C,N)-Ni cermet, microstructures of the cermet is changed. The change effects directly on the property of the material. In this study, the amount of WC and group IV elements of Ti(C,N) cermet tool was investigated. The composition of WC was changed from 5 to 20wt% to determine the effect of WC on the cutting performance of cermet tool. The more WC was added, the longer the tool life of the cermet tool was. The cermet with 1wt% ZrC and 14wt% WC showed the best cutting performance among the investigated cermet tools. The cutting performance of cermet cutting tools suggests the possibility in interrupted cutting for reliability test, experimentation was performed repeatedly with Ti(C_{0.7}N_{0.3})-14WC-1ZrC-20Ni cermet tool machining SCM440. The flank wear of cermet cutting tool at given time condition is suitable for Normal distribution and Log normal distribution by Chi squared test.

기호설명

- σ : 표준편차
- u : 평균
- u' : $\log\left(\sqrt{\frac{u^2}{\sigma^2 + u^2}}\right)$
- σ' : $\sqrt{\log\left(\frac{\sigma^2 + u^2}{u^2}\right)}$
- c : 척도모수
- b : 특성수명

1. 서론

서메트(cermet)는 세라믹(ceramic)과 금속(metal)의 합성어로서, 초기에는 경질의 세라믹을 연질의 금속으로 결합시킨 모든 복합재료를 의미하였으나 오늘날에는 특히 절삭공구 분야에서 WC-Co계 초경합금과 구별하여 미세조직상에 순수한 WC를 포함하지 않는 Ti(C,N)계 절삭공구 재료를 주로 의미한다.

서메트 절삭공구는 코팅 초경공구와 함께 대표적인 인서트형 절삭공구로 각종 금속소재의 절삭가공에 확고한 위치를 확보하고 있다. 코팅 초경공구가 황삭, 중삭 등의 절삭가공에 주로 사용되는 반면, 서메트는 그 특성상 절삭깊이 $d=2.5\text{mm}$ 이하, 이송량 $f=0.25\text{mm/rev}$, 이하의 중, 정삭조건에서 우수한 절삭특성을 나타내며, 특히 최근 들어 각종 피삭물의 우수한 표면조도의 요구와 함께

* 서울시립대학교 대학원 기계정보공학과

** 서울대학교 대학원 재료공학부

† 책임저자, 회원, 서울시립대학교 기계정보공학과

E-mail : kwon@uos.ac.kr

TEL : (02)2210-2403 FAX : (02)2248-5110

*** 서울대학교 재료공학부

Table 1 Chemical composition and sintering condition of cermets (wt%)

Tool materials	Chemical composition (wt%)	sintering condition
TW-5	Ti(C _{0.7} N _{0.3})-5WC-20Ni	1510℃/1hr
TW-10	Ti(C _{0.7} N _{0.3})-10WC-20Ni	1510℃/1hr
TW-15	Ti(C _{0.7} N _{0.3})-15WC-20Ni	1510℃/1hr
TW-20	Ti(C _{0.7} N _{0.3})-20WC-20Ni	1510℃/1hr
TW-14-ZrC	Ti(C _{0.7} N _{0.3})-14WC-1ZrC- 20Ni	1450℃/1hr
TW-14-ZrN	Ti(C _{0.7} N _{0.3})-14WC-1ZrN- 20Ni	1450℃/1hr
TW-14-HfC	Ti(C _{0.7} N _{0.3})-14WC-1HfC- 20Ni	1450℃/1hr

Table 2 Mechanical properties of cermet tool materials

Tool materials	Density (g/m ³)	Hardness (Gpa)	K _{IC} (MPa ^{1/2})
TW-5	-	9.99	12.91
TW-10	-	12.94	9.01
TW-15	-	11.85	9.82
TW-20	-	11.55	13.29
TW-14-ZrC	6.27	12.14	-
TW-14-ZrN	6.27	12.41	-
TW-14-HfC	6.25	9.41	-

Table 3 Cutting condition

	Turning	Milling	Reliability test
Cutting speed	160m/min	200m/min	200m/min
Feed rate	0.2mm/rev	0.2mm/rev	0.2mm/rev
Depth of cut	0.5mm	1mm	1mm
Workpiece	SM45C	SM45C SCM440	SCM440

총형(net shape) 절삭기술의 확대에 따라 이에 적합한 서메트의 수요는 꾸준히 늘어나고 있다.⁽¹⁾ Ti(C,N)계 서메트는 WC계 초경재료에 비하여 우수한 화학적 안정성과 높은 경도, 내마멸 특성을 가지나 파괴인성, 내열 충격성, 내기계적 충격성 등이 열등하여 중(重)절삭(roughing), 단속절삭(interrupted cutting)에는 사용이 제한되었다. 그러나 최근 서메트 소재의 특성이 혁신적으로 향상되고 절삭가공의 추세도 과거의 황삭, 中, 重 절삭 등의 절삭력이 요구되는 형태에서 고속절삭과 같이 경도, 화학적 안정성이 요구되는 형태로 변화함으로써 이런 점에서는 초경공구보다 월등히 우수한 성능을 나타내는 서메트 공구에 대한 요구가 급격히 늘어나고 있다.^(2,3) 서메트 공구의 절삭성능 향상을 위한 연구로, 승온 과정 중 액상출현과 동시에 합체를 일으키는 소결상의 문제

가 있는 것으로 알려진 TiC-Ni 단순계에 전이금속의 탄·질화물의 첨가, 질소분위기에서의 소결 등과 같은 새로운 공정법이 개발되어 미세구조 조절과 이에 의한 물성의 향상이 성과를 거두고 있고,⁽⁴⁻⁷⁾ 최근에는 절삭공구의 표면을 PVD, PCVD나 CVD 등의 기법을 활용하여 내마멸성이 뛰어난 TiC, TiN, Al₂O₃의 단층 또는 적층의 코팅을 하여 절삭성능 향상 및 수명 연장이 가능하게 되었다.⁽⁸⁻¹⁰⁾

본 연구에서는 Ti(C,N)-WC-Ni 서메트 기본계에 물성향상을 위해 사용되는 WC, HfC, ZrN, ZrC의 탄(질)화물 원소를 첨가하여 진공 분위기에서 소결한 TW-series를 제조하여, 첨가물이 서메트의 기능적 특성에 영향을 미치는 미세구조의 분석과 조성 변화에 따른 단속절삭과 연속절삭의 조건에서 절삭공구 개발의 목적으로 상용 공구와 공구 수명의 관점에서 살펴보았다. 또한, 공구 마멸 분포의 신뢰성 분석을 정규분포 함수(Normal distribution)와 대수정규 함수(Log normal distribution), 와이불분포 함수(Weibull distribution)를 대상으로 χ^2 검정을 수행하였다.

2. 실험방법

2.1 서메트의 제조 및 기계적 특성

본 연구에서 사용한 각 서메트 절삭공구의 주요 화학적 조성비와 소결 조건을 Table 1에 나타내었다. 서메트 공구의 소결은 일반적인 분말야금(powder metallurgy) 공정으로 행해졌고, 서메트 합금의 제조에 있어서 Ti(C,N)계 서메트의 원료 분말은 평균입경 3.4 μ m의 Ti(C,N) (C/N 비 : 7/3)과 평균입경 1.9 μ m와 4.1 μ m의 WC와 Ni 분말을 사용하였고, 각 서메트의 조성에 따라 1510℃와 1450℃에서 1시간동안 소결하여 SNGN 120408의 규격으로 연삭가공하여 TW-series 서메트 공구를 제조하였다.

서메트공구의 밀도는 아르키메데스법을 이용하여 측정하였으며, 입자압입법 (Indentation Fracture Method)에 의해 파괴인성을 측정하였고, IV족 탄(질)화물 원소를 첨가시킨 서메트의 경우 시편의 기공상태가 좋지 않아서 파괴인성을 측정하지 않았다. Table 2에 각 서메트공구의 기계적 특성값을 나타내었다.

2.2 절삭특성 및 공구 마멸의 신뢰도 평가

절삭특성 평가 실험은 선삭가공 실험의 경우, 400×600 수동선반과, CSDNN 2525M 12CEA Tool holder를 이용하였고, TW-series와 상용 서메트 공

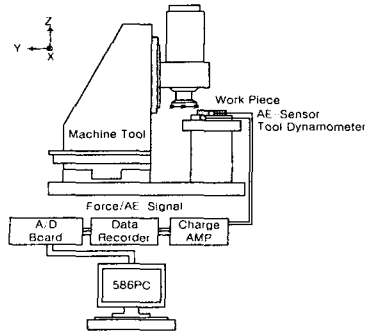


Fig. 1 Experimental set up

구인 CT-320(Taegu-tec)과 상용 코팅 초경공구인 TT-2500(Taegu-tec)을 피삭재 SM45C(HB 220)를 사용하여 절삭속도 $v=160\text{m/min}$, 이송량 $f=0.2\text{mm/rev.}$, 절삭깊이 $d=0.5\text{mm}$ 의 조건에서 비교 평가하였다. 정면 밀링가공 실험의 경우에는 대우중공업 머시닝센터 ACE-V500과 M415SN04R-12 Cutter를 이용하였고, 피삭재 SCM 440(HB 240)과 SM45C를 사용하여 TW-series와 상용 서베트공구인 A30(한국야금)을 절삭속도 $v=200\text{m/min}$, 이송량 $f=0.2\text{mm/rev.}$, 절삭깊이 $d=1\text{mm}$ 의 조건에서 실험하였다. 공구마멸의 신뢰도 평가 실험의 경우 정면밀링 절삭실험에서 가장 좋은 성능을 보인 TW-series를 피삭재 SCM 440을 사용하여 절삭속도 $v=200\text{m/min}$, 이송량 $f=0.2\text{mm/rev.}$, 절삭깊이 $d=1\text{mm}$ 의 조건에서 한번 절삭하는데 걸리는 시간을 6.43분으로 하여 평균 플랭크 마멸량 $300\mu\text{m}$ 이상이 될 때까지 27회 반복 실험하여 플랭크면 평균마멸량을 측정하고 후 정규분포 함수와 대수정규 함수, 와이블분포 함수를 적용하여 이중적합한 분포를 검증하기 위하여 x^2 검정을 수행하였다.⁽¹¹⁾

절삭특성 실험에 있어서 공통적으로 건식절삭으로 절삭하였고, 공구 현미경(Hanra Engineering, Micro Vision System SV-2000)을 이용하여 공구의 플랭크면 평균 마멸량(VB)을 측정하고, 플랭크면 마멸량 $300\mu\text{m}$ 를 공구 수명으로 판정하였다. 경사면 마멸은 거의 발생하지 않았고, 공구수명보다는 공구의 파피에 관련되어 있기 때문에 이번 실험에서는 고려하지 않았다. 절삭 시험동안의 절삭력과 AE 신호를 측정하기 위해 Kistler사의 9257B 공구동력계와 Physical Acoustics Corporation사의 AE센서를 사용하였고, 측정된 절삭력과 AE 신호는 데이터 레코더에 의해 저장된 후 Ni-DAQ-MIO16E-14 보드를 통해 A/D변환한 후 586PC에 저장한 후 해석하였다.

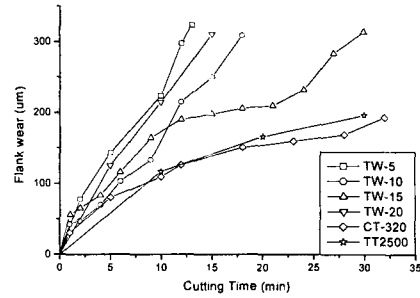


Fig. 2 Flank wear curves of TW-series and commercial inserts with cutting time in turning of SM45C($v=160\text{m/min}$, $d=0.5\text{mm}$, $f=0.2\text{mm/rev}$)

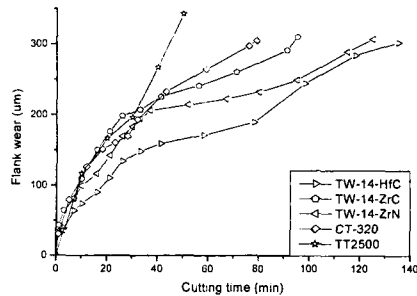


Fig. 3 Flank wear curves of TW-series and commercial inserts with cutting time in turning of SM45C($v=160\text{m/min}$, $d=0.5\text{mm}$, $f=0.2\text{mm/rev}$)

3. 실험결과 및 고찰

3.1 선삭시 절삭특성의 평가

피삭재로 SM45C를 사용하여 절삭속도 $v=160\text{m/min}$, 절삭깊이 $d=0.5\text{mm}$, 이송량 $f=0.2\text{mm/rev}$ 의 조건에서 TW-series와 상용공구의 플랭크면 평균마멸량을 Fig. 2과 Fig. 3에 나타내었다. Fig. 2은 WC 첨가량을 변화시킨 TW-series와 상용공구의 마멸량을 나타낸 그래프이고, Fig. 3는 IV족 탄(질)화물 원소를 첨가한 TW-series와 상용공구의 마멸량을 나타낸 그래프이다.

Fig. 2에서 비교적 우수한 인성을 가지고 있지만, 경도가 낮은 WC 첨가량이 5wt%인 TW-5가 가장 빠른 마멸진행을 보여 정상적인 절삭이 어려운 것을 알 수 있고, WC 첨가량이 증가할수록 마멸진행이 느려져 WC 첨가량이 15wt%인

TW-15가 WC 첨가량을 변화시킨 TW-series 중에서 가장 공구 수명이 긴 것을 알 수가 있다. 하지만, 상용 공구에 비해 마멸진행이 빠른 것을 알 수가 있다. Fig. 3에서 WC첨가량을 14wt%로 고정하고, IV족 탄(질)화물을 1wt%씩 첨가한 TW-series의 공구마멸진행이 WC 첨가량을 변화시킨 TW-series보다 3배 이상 느려진 것을 알 수 있어, IV족 탄(질)화물 첨가에 의해 Ti(C,N)-WC-Ni계 서메트 공구의 절삭성능이 상당히 개선된 것을 알 수 있다. IV족 탄(질)화물을 첨가한 TW-series는 모두 상용공구보다 공구 마멸진행이 느린 것을 알 수 있고, 상용 코팅 초경공구인 TT2500은 TiN-TiCN-Al₂O₃-TiN은 경질 세라믹층이 코팅되어 절삭시 피삭재와 초경모재의 화학적 반응을 방지할 뿐만 아니라 고온에서 모재의 결합상인 Co으로 인한 소성변형을 억제함으로써 초기에는 우수한 성능을 보이지만, 초기 마멸 후에 코팅 층의 박리가 일어나 코팅 초경공구의 마멸이 급격하게 증가함을 알 수 있다. 또한, 상용 서메트 공구인 CT320은 코팅 초경공구와 유사한 마멸 경향을 보이지만, 코팅 초경공구보다 고온경도와 고온에서의 화학적 안정성이 뛰어나 더 우수한 성능을 보이는 것을 알 수가 있다.

3.2 정면 밀링절삭 절삭특성의 평가

피삭재로 SM45C를 사용하여 절삭속도 $v=160\text{m/min}$, 절삭깊이 $d=0.5\text{mm}$, 이송량 $f=0.2\text{mm/rev}$ 의 조건에서 TW-series의 플랭크면 평균 마멸량을 Fig. 4에 나타내었다. 모든 TW-series는 유사한 경향의 공구마멸 진행을 나타내고 있고, 비교적 우수한 인성을 가지고 있지만, 경도가 낮은 WC 첨가량이 5wt%인 TW-5가 가장 빠른 마멸진행을 보여 정상적인 절삭이 어려운 것을 알 수 있고, WC 첨가량이 증가할수록 마멸진행이 느려져 WC 첨가량이 20wt%인 TW-20이 WC 첨가량을 변화시킨 TW-series 중에서 가장 공구 수명이 긴 것을 알 수가 있다.

WC첨가량을 14wt%로 고정하고, IV족 탄(질)화물을 1wt%씩 첨가한 TW-series의 공구마멸진행은 WC 첨가량을 변화시킨 TW-series보다 더 느려지는 경향을 볼 수 있는데, 이는 일반적으로 탄화물의 첨가가 고온강도를 증가시키는데는 큰 영향을 주지 못하지만 ZrC나 HfC가 첨가될 때 고온강도가 증가되는 것이 보고되었다. 즉 1~2mol%의 ZrC나 HfC를 서메트에 첨가하는 경우 고온강도는 약 20% 정도, 경도는 약 10% 정도 증가하는 것이 관찰되었고, 이는 탄화물 골격체의 강화나 결합상의 탄성변형 중 전위의 동적 회

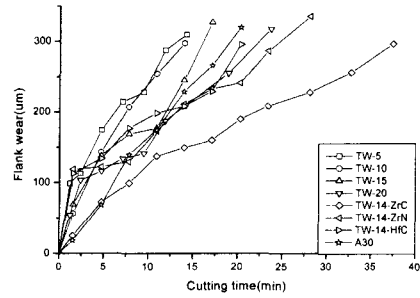


Fig. 4 Flank wear curves of TW-series and commercial insert with cutting time in milling of SM45C $v=200\text{m/min}$, $d=1\text{mm}$, $f=0.2\text{mm/rev}$

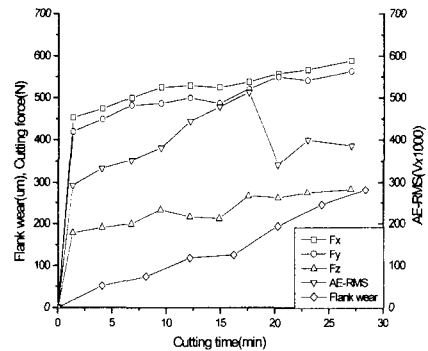


Fig. 5 Cutting force, AE-RMS signal and Flank wear curve of TW-14-ZrC inserts during machining SCM440, $v=200\text{m/min}$, $d=2\text{mm}$, $f=0.1\text{mm/rev}$

복이 늦어짐에 의한 현상으로 해석되고 있다.⁽⁸⁾ Fig. 5는 앞의 단속절삭에서 가장 우수한 성능을 보인 TW-14-ZrC 공구를 절삭속도 $V=200\text{m/min}$, 이송량 $f=0.1\text{mm/tooth}$, 절삭깊이 $d=2\text{mm}$ 의 조건에서 피삭재를 SCM 440을 사용하여, 공구 마멸량과 절삭력, AE 신호를 나타낸 그래프이다. 공구 마멸량이 증가함에 따라 주절삭력, 배분력, 이송분력이 증가하며, 마멸의 진행에 따라 거의 비례적으로 증가한다. 반면, AE 신호의 경우 공구 마멸량에 따라 함께 증가하다가 공구의 마멸이 약 $200\mu\text{m}$ 가 되는 지점에서 최대치를 보인 후 다시 감소하는 경향을 보였다. 선삭가공 실험 중 공구 마멸이 증가함에 따라 AE 신호도 증가하다가 다시 감소하는 추세를 보였는데,⁽¹²⁾ 서메트 공구를 사용한 단속절삭에서도 유사한 결과를 보였다. 이로써 단속절삭에서도 AE 신호가 공구마멸

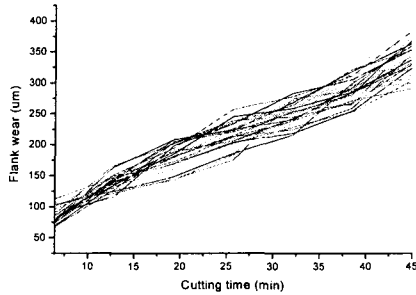


Fig. 6 Tool wear curves

Table 4 Mean, Standard deviation of tool wear

Tool Pass	Cutting Time	Mean value	Standard Deviation
1	6.43	85.88	12.306
2	12.88	141.64	13.626
3	19.29	177.8	20.345
4	25.72	216.42	21.767
5	32.15	249.46	18.344
6	38.58	289.10	20.386
7	45.01	335.01	26.257

Table 5 χ^2 value of distribution

Tool Pass	Normal distribution	Log-normal distribution	Weibull distribution					
			0.5	1	2	3	4	5
1	0.83	0.70	242.6	101.7	37.26	37.26	11.18	6.76
2	0.11	0.15	37.2	141.5	53.17	53.17	15.65	9.69
3	0.47	0.78	250.5	104.3	35.72	35.73	23.87	18.35
4	0.38	0.66	338.7	147.5	56.55	56.55	17.72	11.34
5	0.11	0.30	448.8	201.1	80.87	80.88	26.71	17.60
6	0.11	0.28	470.4	211.8	85.93	85.93	28.80	19.10
7	0.55	0.54	448.1	201.0	81.28	81.28	27.50	18.30

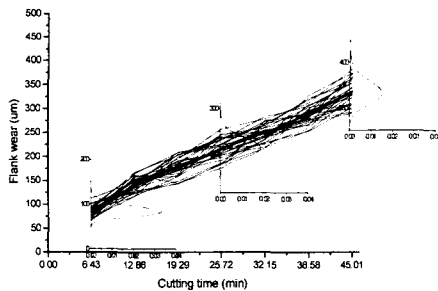


Fig. 7 distribution of tool wear curve

를 감시할 수 있는 신호로 사용할 수 있음을 확인하였다.

3.3 공구마멸 분포의 신뢰도 평가

Fig. 6는 정면밀링 절삭실험에서 가장 좋은 성능을 보인 TW-14-ZrC를 피삭재로 SCM440을 사용하여 절삭속도 $v=200\text{m/min}$, 절삭깊이 $d=1\text{mm}$, 이송량 $f=0.2\text{mm/rev}$ 의 조건에서 플랭크면 평균 마멸량이 $300\mu\text{m}$ 이상이 될 때까지 27번 반복 절삭하여 공구의 시간대별 공구마멸량을 나타낸 결과이다. Table 4에서 보이듯이, 절삭 초기에서 표준편차가 적으나 시간이 흐를수록 그 차가 커짐을 알 수 있다.

이번 실험에서는 정규분포, 대수정규분포와 형상계수가 0.5~5 사이에 있는 와이블분포를 검증하였으며, 각각 정규분포 $f_1(x)$, 대수정규분포 $f_2(x)$, 와이블분포 $f_3(x)$ 의 확률밀도 함수는 다음과 같이 표현된다.

$$f_1(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-u)^2}{2\sigma^2}} \tag{1}$$

$$f_2(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\sigma}} e^{-\frac{(\log(x)-u)^2}{2\sigma^2}} \tag{2}$$

$$f_3(x) = \frac{c}{b} \left(\frac{x}{b}\right)^{c-1} e^{-\left(\frac{x}{b}\right)^c} \tag{3}$$

Table 5는 각 절삭시간별 실험데이터를 C++프로그램을 이용하여 적분한 각각의 분포의 확률 밀도에 대한 χ^2 값을 표현 한 것이다.

모든 실험데이터는 $\pm 3\sigma$ 범위 내에 모두 포함되어 있었으며, 똑같은 조건 아래에서의 실험이었으므로 예상했던대로 Fig. 7에 보이는 것처럼 시간대별 공구 마멸의 분포는 χ^2 검정 결과 정규분포와 대수 정규분포가 잘 일치하는 분포도임을 확인 할 수 있었다.

4. 결론

Ti(C,N)계 세라믹에 WC의 첨가량을 변화시키고, IV족 탄(질)화물 원소를 첨가하여 소결한 TW-series를 제조하여, SM45C과 SCM440을 피삭재로 사용하여 선삭가공과 정면 밀링가공 실험을 한 결과 WC와 IV족 원소 첨가가 Ti(C,N)계 세라믹공구의 절삭성능에 미치는 영향 대하여 비교 분석하였고, 또한 공구의 시간대별 마멸량이 어

편 분포도가 적합한가를 판단하기 위하여 χ^2 검정을 통해 공구 마멸의 분포의 신뢰성 분석을 하였다.

(1) WC 첨가량에 따른 Ti(C,N)계 세라믹공구의 절삭가공 실험에서 WC의 첨가량이 증가할수록 공구수명이 증가하여 연속 절삭시 WC첨가량이 15wt%인 TW-15가, 단속 절삭시 WC첨가량이 20wt%인 TW-20이 가장 우수한 공구수명을 보였다.

(2) IV족 탄(질)화물의 첨가로 WC첨가량에 따른 TW-series보다 SM45C를 피삭재로하여 연속 절삭의 경우, 약 5배의 공구수명 증가가 이루어졌고, 단속절삭시 약 1.5배의 공구수명 증가가 이루어졌다.

(3) IV족 탄(질)화물을 첨가한 TW-series 중 연속 절삭시, 소량의 HfC의 첨가가, 단속 절삭시 ZrC의 첨가가 절삭성능을 크게 향상 시켰다.

(4) TW-series의 신뢰도 실험 결과, 시간대별 마멸량은 정규분포와 대수정규분포에 근접함을 알 수 있었고, χ^2 검정을 통해 우리가 실험한 데이터는 모두 $\pm 3\sigma$ 의 범위 안에 있음을 확인 할 수 있었다. 이와 같은 동일한 실험조건에서의 반복적인 시간대별 마멸량을 측정하고 검증함으로써 이번 실험의 유효성을 입증 할 수 있었다.

후 기

이 논문은 2001년도 한국과학재단 특정기초 연구비로 지원된 연구결과입니다. (R01-2001-00255)

참고문헌

(1) Ahn, D. H., 2001, "Cutting Performance of Submicron Cermet Tools and Their Mechanical Properties," *Jour. of KSPE*, Vol. 18, No. 4, pp. 182~189.
 (2) Moskowitz, D. and Humenik, M. Jr., 1966, "Cemented Titanium Carbide Cutting Tools," *Mod. Dev. in PM*, (3), pp. 83~94.

(3) Zhang, S., 1993, "Titanium Carbonitride-Based Cermets : Process and Properties," *Mat. Sci. and Eng.*, A163, pp. 141~148.
 (4) Matsubara, H., Shin, S. and Sakuma, T., 1992, "Grain Growth of TiC and Ti(C,N) Base Cermet During Liquid Phase Sintering," *Solid State Phenomena*, 25 & 26, pp. 551~558.
 (5) Suzuki, H., Matsubara, H. and Saitoh, T., 1983, "The Microstructures of Ti(C,N)-Mo₂C-Ni Cermet Affected by WC Addition," *Japan Soc. of pow. and pow. Metall.* 31(7), pp. 236~240.
 (6) Miller, D. J. and Pask, J. A., 1983, "Liquid Phase Sintering of TiC-Ni Composites," *J. Am. Cer. Soc.*, 66(12), pp. 841~846.
 (7) Humenik, M. and Parikh, N. M., 1956 "Cermets : I, Fundamental Concepts Related to Microstructure and Physical Properties of Cermets Systems," *J. Am. Cer. Soc.*, 39(2), pp. 60~63.
 (8) D'Errico, G., Guglielmi, E., 1998, "A Comparative Study of PVD Coated Cermet Insert for Milling Application," *J. of Mat. Processing Technology* 78, pp. 48~52.
 (9) Rie, K. T., Gebauer, A., Wohle, J., 1997, "Plasma Assisted CVD for Low Temperature Coatings to Improve the Wear and Corrosion Resistance," *Surface and Coating Technology* 86-87, pp. 498~506.
 (10) Tonshoff, H. T., Blawit, C., 1997, "Development and Evaluation of PACVD Coated Cermet tools," *Surface and Coating Technology* 93, pp. 119~127.
 (11) Beckwith, T. G., Marangoni, R. D., Lienhard V. J. H., "Mechanical Measurements," Addison Wesley, Fifth Edition.
 (12) Maeng, M. J., Chung, J. K., 1995, "A Study on the Cutting Resistance and Acoustic Emission Signal due to Increasing Tool Wear in Turning" *Jour. of KSMTE*, Vol. 4, No. 2, pp. 18~24.