

Ti(C,N)계 서메트 공구의 WC와 IV족 원소 첨가가 단속 절삭성능에 미치는 영향

박준석*, 김경재(서울시립대 대학원 정밀기계공학과), 권원태**(서울시립대 정밀기계공학과),
강신후***(서울대 재료공학부)

Effect of WC and group IV Elements of Ti(C,N) on the Intermittent Cutting Performance

J. S. Park, K. J. Kim, W. T. Kwon(University of seoul), S. H. Kang(Seoul national University)

ABSTRACT

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 20% 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 20% WC showed the best fracture toughness. The effect of group IV elements ; ZrC, ZrN and HfC was also investigated by adding each of them to manufacture the cermet tool with fixed 14% WC composition. The cermet with 1% group IV ZrC and 14% WC showed the best cutting performance among the investigated cermet tools.

Key Words : Mechanical properties (기계적 성질), Cermet tool (서메트 공구), Carbide tool (초경 공구),
Flank wear (플랭크 마모), Cutting force (절삭력), Acoustic Emission (음향방출)

1. 서론

일반적으로 서메트는 세라믹(Ceramic) 경질상과 금속(Metal) 결합상의 복합체이며, 각종 탄화물, 산화물, 질화물, 규화물을 니켈, 코발트, 몰리브덴등의 금속 결합재로서 결합한 것이다.

근래에 Ti(C,N)계 서메트 절삭공구는 기존의 WC-Co계 서메트를 대신할 수 있는 절삭공구로서 각광을 받고 있다. Ti(C,N)계 서메트공구는 WC-Co계 서메트공구에 비하여 높은 경도, 고온에서의 화학적 안정성, 낮은 비중 등 많은 우수한 성질을 지니고 있으며¹⁻³⁾, 코팅 초경공구와 함께 대표적인 인서트형 절삭공구로 절삭공구 재료의 주류로 성장하여 정밀 밀링 가공이나 선삭가공에서 넓은 범위의 가공형태

에서 수용을 늘리고 있다. 코팅 초경공구가 황삭, 중삭등의 절삭가공에 주로 사용되는 반면, 서메트는 초경공구에 비해 경도와 고온강도가 높고, 인성이 낮은 특성상에 의해 중, 정삭 조건에서 우수한 절삭 특성을 나타내며, 특히 초경합금의 WC에 비해 내열 특성이 우수한 Ti(C,N)을 주체로 하고 있기 때문에 내마모성, 내용착성이 우수하고 내산화성이나 내소성변형성도 풍부하다. 특히 다듬질면 형성에 관여하는 전철 절인부의 경계마모가 잘 생기지 않고 고정밀도 가공의 실현에 크게 공헌하고 있다.

서메트의 절삭성능 향상을 위해서, PVD와 CVD, PCVD등 다양한 코팅방법과 코팅재료의 연구가 시도되고 있고⁴⁻⁷⁾, 미세구조 및 새로운 합금조성의 설계 등 다양한 연구로 기계적 특성의 개선이 연구되었다.⁸⁻¹¹⁾

서메트에서 각 원소가 공구의 기계적 성질에 미치는 영향으로 Ti(C,N)은 확산과 점착적인 마모에 대한 저항과 Co, Ni는 소성변형 저항, TaC, NbC는 열충격 저항을 증가시킨다고 알려져 있다.¹⁹⁾

본 연구에서는 Ti(C,N)계 서메트에 경질상으로 사용되는 WC의 첨가량을 변화시키고, HfC, ZrC, ZrN 등 IV족 탄(질)화물 원소의 첨가에 따른 미세구조의 변화와 절삭성능에 미치는 영향에 대해 비교, 고찰하였다.

2. 실험방법

2.1 서메트의 제조 및 기계적 특성

본 연구에 사용한 각 서메트 절삭공구의 주요 화학적 성분의 조성비를 Table 1에 나타내었다. 서메트 합금의 제조에 있어서 Ti(C,N)계 서메트의 원료분말은 평균입경 $3.4 \mu\text{m}$ 의 Ti(C,N) (C/N 비 : 7/3)과 평균입경 $1.9 \mu\text{m}$ 과 $4.1 \mu\text{m}$ 의 WC와 Ni 분말을 사용하였다. 각 조성의 서메트 원료분말을 부피 비율로 측정하여, 아세톤 및 초경 볼을 이용하여 WC의 첨가량을 변화시킨 서메트는 10시간, IV족 탄(질)화물 원소를 첨가시킨 서메트는 24시간동안 혼합, 분쇄하여 혼합원료 분말을 제조하였다. 진공 소결로를 이용하여 각 서메트의 조성에 따라 1510°C 와 1450°C 에서 1시간동안 소결하여 서메트공구를 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 특성을 나타

Table 1 Chemical composition and sintering condition of cermets

Tool materials	Chemical composition (wt%)	sintering condition
TW-5	Ti(Co0.7Nb0.3)-5WC-20Ni	1510°C / 1hr
TW-10	Ti(Co0.7Nb0.3)-10WC-20Ni	1510°C / 1hr
TW-15	Ti(Co0.7Nb0.3)-15WC-20Ni	1510°C / 1hr
TW-20	Ti(Co0.7Nb0.3)-20WC-20Ni	1510°C / 1hr
TW-14-ZrC	Ti(Co0.7Nb0.3)-14WC-1ZrC- 20Ni	1450°C / 1hr
TW-14-ZrN	Ti(Co0.7Nb0.3)-14WC-1ZrN- 20Ni	1450°C / 1hr
TW-14-HfC	Ti(Co0.7Nb0.3)-14WC-1HfC- 20Ni	1450°C / 1hr

Table 2 Mechanical properties of cermet tool materials

Tool materials	Density (g/m^3)	Hardness (GPa)	K_{IC} ($\text{MPa}\cdot\text{m}^{1/2}$)
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	-

내었다.

2.2 절삭특성의 평가

Ti(C,N)계 서메트공구의 WC와 IV족 탄(질)화물 원소 첨가에 따른 절삭특성 비교시험에 있어서 내마모 시험은 $70 \times 200 \times 100\text{mm}$ 의 피삭재 SCM440 (HB240)과 SM45C (HB210)를 제조한 각각의 서메트 공구로 정면밀링 가공하여 평가하였다. 이때 사용한 밀링커터의 규격은 직경 100mm의 M415SN04R-12이며, 서메트구중 TW-5, TW-10, TW-15, TW-20은 WC의 첨가량이 5~20wt%로 각각 다르고, TW-14-ZrC, TW-14-ZrN, TW-14-HfC는 14wt%의 WC에 IV족 탄(질)화물 원소인 ZrC와 ZrN, HfC가 각각 1wt%씩 첨가되었고, SNGN 120408의 규격으로 연삭하였다.

절삭가공 실험은 대우중공업의 머시닝센터 ACE-V500를 사용하였으며, 내마모 시험의 절삭조건은 SCM440을 피삭재로 사용하여 절삭속도 $V=200\text{m}/\text{min}$, 이송량 $f=0.2\text{mm}/\text{rev}$, 절삭깊이 $d=1\text{mm}$ 의 조건에서 실험하였다. 공구 마모량과 절삭력, AE 신호의 관계를 알아보기 위하여, 내마모 실험에서 절삭성능이 가장 우수한 서메트 공구를 피삭재 SM45C와 SCM440을 사용하여 절삭속도 200m/min, 이송량 0.1mm/rev, 절삭깊이 2mm의 조건에서 실험하였다. 모든 절삭실험은 외날 절삭으로 냉각유를 사용하지 않는 건식절삭 및 중심절삭을 하였다.

공구 현미경을 이용하여 공구의 플랭크면 평균 마모량(VB)을 측정하고, 플랭크면 마모량 $300 \mu\text{m}$ 를 공구 수명으로 판정하였다. 또한, 절삭 시험동안의 절삭력과 AE 신호를 측정하기 위해 Kistler사의 9257B 공구동력계와 Physical Acoustics Corporation의 AE 센서를 사용하였다. 측정된 절삭력과 AE신호는 데이터 레코더에 의해 저장된 후

Ni-DAQ-MIO16E-14 보드를 통해 A/D변환한 후 586PC에 저장한 후 해석하였다.

3. 실험결과 및 고찰

Fig. 1은 피삭재 SCM 440을 사용하여 절삭속도 200m/min, 이송량 0.2mm/rev, 절삭깊이 1mm의 조건에서 Ti(C,N)계 서메트공구의 WC첨가량의 변화와 IV족 탄(질)화물 첨가에 따른 플랭크 마모량을 나타낸 것이다. 이 조건에서 모든 서메트공구는 유사한 경향의 공구마모 진행을 보였고, WC첨가량을 변화시킨 서메트공구에서, 비교적 우수한 인성을 가지고 있지만, 경도가 낮은 WC 첨가량이 5wt%인 WC-5가 가장 빠른 마모진행을 보이고, 높은 인성과 경도를 가지고 있는 WC 첨가량이 20wt%인 WC-20이 느린 마모진행을 보여 WC첨가량이 증가할수록, 상대적으로 느린 마모진행을 보였다.

전체적으로 IV족 탄(질)화물을 첨가한 서메트공구는 우수한 성능을 보이고, 특히 Ti(C,N)계 서메트공구에 ZrC 첨가에 의해 공구수명이 상당히 향상되었다. 그 이유로 추측되는 것은 일반적으로 탄화물의 첨가가 고온강도를 증가시키는데는 큰 영향을 주지 못하지만 ZrC나 HfC가 첨가될 때 고온강도가 증가되는 것이 보고되었는데, 즉 1~2mol%의 ZrC나 HfC를 서메트에 첨가하는 경우 약 20% 가량의 고온강도가 증가하는 것으로, 그리고 10% 이상의 강도가 증가하는 것으로 관찰되었고, 이는 탄화물 골격체의 강화나 결합상의 탄성변형 중 전위의 동적회복이 늦어짐에 의한 현상으로 해석되고 있다.^[7]

Fig. 2와 Fig. 3은 내마모 시험에서 가장 우수한 성능을 보인 TW-14-ZrC 공구를 절삭속도 V=200m/min, 이송량 f=0.1mm/tooth, 절삭깊이 d=2mm의 조건에서 피삭재를 SCM 440과 SM45C를 사용하여, 공구 마모량과 절삭력, AE 신호를 나타내었다. 공구 마모량이 증가함에 따라 주절삭력, 배분력, 이송분력이 증가하지만, 마모의 진행에 따라 큰 변화는 없는 것으로 보인다. 반면, AE 신호의 경우 공구 마모량에 따라 함께 증가하다가 공구의 마모가 약 200 μm 가 되는 지점에서 최대치를 보인 후 다시 감소하는 경향을 보였다. 선삭가공 실험중 공구 마모가 증가함에 따라 AE 신호도 증가하다가 다시 감소하는 추세를 보였는데,^[11]서메트

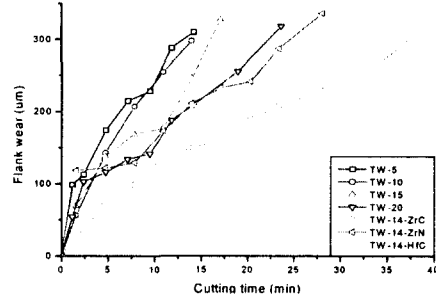


Fig. 1 Flank wear curve of various inserts during machining SCM440 (Cutting speed V = 200m/min, feed rate f = 0.2mm/rev, depth of cut d = 1mm)

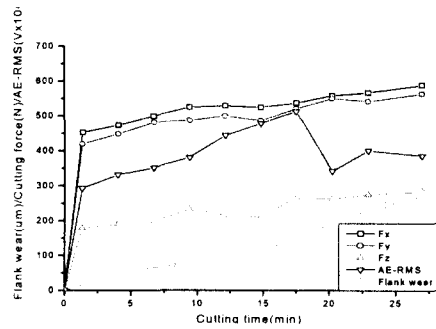


Fig. 3 Cutting force, AE-RMS signal and Flank wear curve of WC-14-ZrC inserts during machining SCM440 (Cutting speed V = 200m/min, feed rate f = 0.1mm/rev, depth of cut d = 2mm)

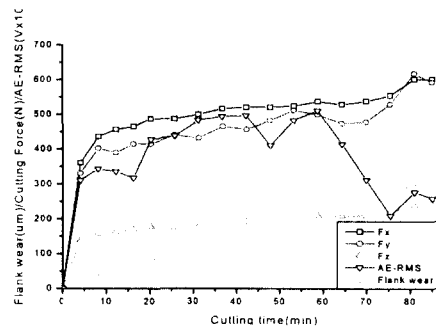


Fig. 3 Cutting force, AE-RMS signal and Flank wear curve of WC-14-ZrC inserts during machining SM45C (Cutting speed V = 200m/min, feed rate f = 0.1mm/rev, depth of cut d = 2mm)

공구를 사용한 단속절삭에서도 유사한 결과를 보였다. 이로써 단속절삭에서도 AE 신호가 공구마모를 감지할 수 있는 신호로 사용할 수 있음을 확인하였다.

4. 결론

Ti(C,N)계 서메트에 WC와 IV족 탄(질)화물 원소의 첨가량을 변화시켜 소결한 서메트 공구를 SCM 440과 SM45C를 피삭재로 사용하여 정면 밀링가공 실험을 한 결과 WC와 IV족 원소 첨가가 Ti(C,N)계 서메트공구의 절삭성능에 미치는 영향 대하여 비교 분석하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) WC 첨가량에 따른 Ti(C,N)계 서메트공구의 정면밀링 절삭에서 WC의 첨가량이 증가할수록 공구수명이 증가하였다.
- 2) IV족 탄(질)화물의 첨가로 Ti(C,N)계 서메트공구의 절삭성능이 향상되었다.
- 3) 절삭 중 AE 신호는 공구 마모량 약 200 μm 까지 증가한 후 감소되는 경향을 보여, 공구수명을 감지하는 예비신호로 쓰일 수 있음을 확인하였다.

참고문헌

- 1) D. Moskowitz, M. Humenik. Jr, "Cemented Titanium Carbide Cutting Tools", Mod. Dev. in PM, (3), pp.83-94 (1966)
- 2) S. Zhang, "Titanium carbonitride-based cermets : processes and properties", Mat. Sci. and Eng., A163, pp.141-148 (1993)
- 3) H. Matsubara, S. Shin and T. Sakuma, "Grain Growth of TiC and Ti(C,N) Base Cermet During Liquid Phase Sintering", Solid State Phenomena, 25 & 26, pp. 551-558 (1992)
- 4) Giampolo E. D Errico, Ruggero Chiara, Emanuele Guglielmi, "PVD coating of cermet inserts for milling applications", Surface coatings technology
- 5) G. E. D'Errico, E. Guglielmi, G. Rutelli, "A study

of coatings for endmills in high speed cutting", Journal of Materials processing Technology 92-93 (1999) 251-256

- 6) K. Vandierendonck, M. Van Stappen, "Study of performance of PVD and PCVD coated cermets for different cutting application", Surface and Cutting Technology 97
- 7) G. E. D'Errico, E. Guglielmi, "A comparative study of PVD coated cermet insert for milling application", Journal of Materials processing Technology 78 (1998) 48-52
- 8) P. Ettmayer, H. Kolaska, W. Lengauer, K. Dreyer, "Ti(C,N) cermets-Metallurgy and Properties", Int. Journal of Refractory & Hard Materials 13 (1995) 343-351
- 9) G. E. D'Errico, S. Bugliosi, E. Guglielmi, "Tool-life reliability of cermet insert in milling tests", Journal of Materials processing Technology 77 (1998) 337-343
- 10) H. Suzuki, K. Hayashi, T. Yamamoto. Japan Soc. of Powder and Powd. Met 26, 22-26 (1979)
- 11) 맹민재, 정준기, "선삭가공에서 공구마멸에 따른 절삭력과 AE 신호의 특성 연구", 한국공작기계학회지 제 4권 제 2호 (1995) pp.18-24