

초경팁 부착형 둥근톱의 절단 특성에 미치는 기판 재질의 영향

이재우*(두원공과대학 기계과)

Effect of the Mechanical Properties of Disk Material on the Cut-off Characteristics of Tungsten Carbide Tipped Circular Saw

Jae-Woo Lee(Mech. Eng. Dept., Doowon Technical College)

ABSTRACT

The Mechanical properties such as the Young's modulus, damping ratio, vibration mode and hardness of the disk materials heat-treated under various conditions are measured, and the relations between these properties and the cutting characteristics such as early tip fracture are examined. The results obtained from this study are as follows. The circular saw with the V-Cr added disk has higher young's modulus and damping ratio than the saw with STC5 disk, preventing the early fracture of tungsten carbide due to the above properties. The circular saw with the disk which is subjected to the heat treatment at the quenching temperature of 830°C and at the temperature of 550°C have the best tool life and surface roughness.

Key Words : Carbided tipped circular saw (초경팁 부착형 둥근톱), circular disk (원형 기판), heat treatment (열처리), Natural frequency (고유진동수), Tempering temperature (뜨임온도)

1. 서론

초경팁 부착형 둥근톱의 절단은 단속절삭이며, 초경팁을 지지하는 샹크의 두께가 얇아 가로방향의 강성이 매우 낮기 때문에 진동이 발생되기 쉽고, 절삭영역이 피삭재에 밀폐되어 절삭열의 발산이 어려운 등의 난이도가 높은 가공방법이므로 초경팁의 칩핑 및 파손이 발생하기 쉬워 공구수명이 매우 짧으며, 공구수명은 각종 절삭조건에 의해 큰 영향을 받는다.^{1),2)} 그러나 초경팁 부착형 둥근톱을 사용한 강제 절단에서 공구성능, 절삭성 등에 관한 연구는 종래부터 경시되어 온 관계로 연구보고가 보이지 않으며, 절단 기구가 매우 복잡한 둥근톱의 절삭 현상이 그다지 밝혀져 있지 않으므로, 요구되는 공구수명 및 정밀도를 얻지 못하여 국내의 공구 제조업체나 공구 사용업체에서는 큰 어려움을 겪고 있다.

한편, 둥근톱의 진동과 초경팁의 손상은 디스크의 재질로부터 큰 영향을 받을 것으로 생각된다

따라서 본 연구에서는 종래 많이 사용되고 있는 STC5 재료와 V-Cr이 첨가된 특수강을 각종의 열처

리 조건에서 담금질 및 뜨임 처리시킨 디스크 재료를 사용한 둥근톱으로 SM45C 구조용 탄소강재를 각종의 절삭조건에서 절단을 행하고, 공구손상 및 채터링 진동의 관점에서 적절한 디스크 조건을 검토하고자 한다.

2. 실험 방법

피삭재로는 구조용 탄소강 SM45C의 직경 60mm 환봉을 사용하였으며 피삭재를 자동이송장치에 의해 연속 공급하였으며, 300m 절단한 때에 공구현미경으로 60개의 모든 초경팁 여유면의 손상 크기를 측정하고 손상 크기가 0.3mm에 달한 초경팁의 개수를 파손팁의 개수로 산정하였다.

사용된 디스크 재료는 STC5와, 탄소, 규소 및 망간 함량이 STC5와 유사하며, V-Cr이 별도로 첨가된 강재를 사용하였다. 디스크 재료의 열처리 조건을 Table 1에 보인다. 담금질 조건의 영향을 조사하기 위하여 담금질 온도를 775°C, 800°C, 810°C, 830°C 및 850°C로 변화시켜 20분간 유냉하였으며, 뜨임온

Table 1 Disk materials

Material	V-Cr added steel	
Chemical composition	0.8%C, 0.24%V, 0.48%Cr, 0.32%Si, 0.48%Mn, Fe Bal.	
Heat treating condition	Quenching, T1 (°C)	775, 800, 810, 830, 850 20min hold, oil cooled
	Tempering, T2 (°C)	475, 500, 525, 550, 600 60min hold, air cooled
Material	STC5	
Chemical composition	0.85%C, 0.24%Si, 0.36%Mn, 0.02%P, 0.01%S, Fe Bal.	
Heat treating condition	Quenching, T1 (°C)	775, 800, 810, 830, 850 20min hold, oil cooled
	Tempering, T2 (°C)	400, 450, 475, 500, 525, 550, 90min hold, air cooled

온도의 영향을 조사하기 위하여 STC5 디스크의 경우는 뜨임 온도를 400°C ~ 500°C로 변화시키고 90분 유지한 후에 공냉하였으며, V-Cr 첨가 디스크의 경우는 뜨임 온도를 475°C ~ 600°C로 변화시키고 각 온도에서 60분간 유지한 후에 공냉시켰다.

Table 2와 같은 공구 조건과 Table 3과 같은 절삭조건에서 절삭하였으며, 디스크 재질에 따른 이송속도의 영향을 조사하기 위하여 이송속도를 변화시켰고, 표면거칠기는 축침식 표면거칠기 측정기를 사용하여 측정하였다.

Table 2 Condition of used tool

Saw diameter	360mm
Tip number	60
Rake angle	0 (deg.)
End clearance angle	10 (deg.)
Side clearance angle	0.5 (deg.)
Side cutting edge angle	-1 (deg.)
End cutting edge shape	0.2×25°
Tool material	P30
Compression force of shank side face	3 KN

Table 3 Cutting conditions

Cutting speed, V	100 m/min
Feed, f	0.04 ~ 0.08 mm/tooth
Cutting fluid	water base fluid (W2)

또한 변위 센서를 수평 끝지점으로부터 80mm 내부에 설치하고, 정지시와 공회전시에 전자석에 의한 가진을 행하고, 노달원(nodal circle)수를 0으로 한 때의 고유진동수를 측정하였다. 또한 각 시편의 초기절삭 위치로부터 수평 80mm 내부 지점의

최대 진폭을 FFT 신호처리기(HP35670A)를 사용하여 측정하였다

3. 실험 결과 및 고찰

Fig. 1은 V-Cr 첨가 디스크와 STC5 디스크를 775°C, 800°C, 830°C 및 850°C로 가열 온도를 변화시켜 유냉시킨 담금질 처리를 행한 경우의 디스크의 경도와 영계수를 비교한 것이다. V-Cr 첨가 디스크의 뜨임처리는 550°C에서 60분간 가열한 후에 공냉시켰으며, STC5의 뜨임은 450°C에서 90분간 가열한 후에 공냉시켰다. Fig. 2에서 알 수 있는 바와 같이 STC5 디스크의 담금질 온도는 경도 및 영계수에 그다지 영향을 미치지 않으나, V-Cr 첨가 디스크는 830°C에서 담금질한 경우의 경도가 다른 온도에서 담금질한 경우 보다 높다.

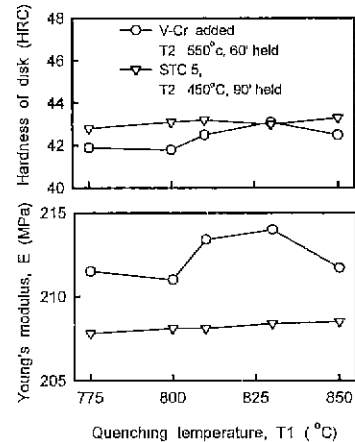


Fig. 1 Effect of quenching temperature on disk hardness and Young's modulus

Fig. 2는 뜨임 온도를 변화시킨 경우의 경도, 영계수 및 감쇄율의 변화를 보인다. STC5계의 경우는 담금질 온도를 830°C로 일정하게 하였으나, V-Cr 강재의 경우는 담금질 온도를 800°C, 830°C 및 850°C로 변화시켰다. Fig. 3에서 보이는 바와 같이, STC5 강재는 뜨임 온도가 증가함에 따라 경도는 현저히 감소되고 있으나 영계수 및 감쇄율은 그다지 변화되지 않는다. 한편 V-Cr 첨가 강재의 경우는 525°C에서 뜨임한 경우의 경도 및 영계수가 가장 높으며, 이 보다 뜨임 온도가 높거나 낮은 경우는 경도 및 영계수가 저하된다. 또한 감쇄율이 최고로 되는 뜨임온도가 존재하며 그 온도는 550°C이다.

Fig. 3은 V-Cr 첨가 강재를 830°C에서 담금질 처리하고 550°C에서 뜨임한 것과 STC5를 830°C에서 담금질하고 450°C에서 뜨임한 경우의 현미경 조직

을 보인다. Fig. 3에서 STC5 강재에 비해 V-Cr 강재는 탄화물의 석출량이 2배 이상이 된다. 이와 같

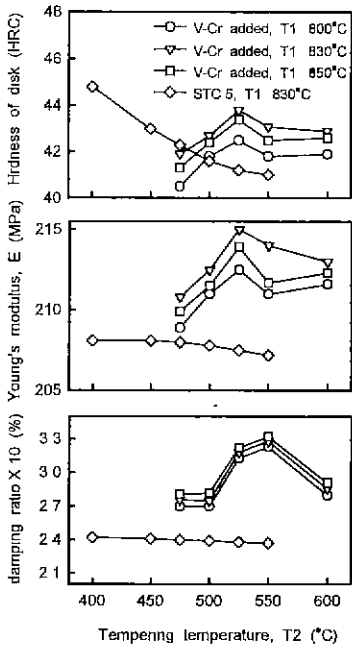
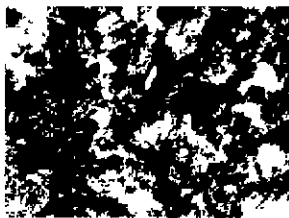
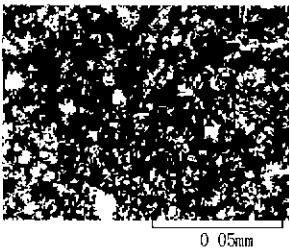


Fig. 2 Effect of tempering temperature on the hardness of disk, Young's modulus and damping ratio



(a) V-Cr added



(b) STC 5

Fig. 3 Microstructure of disk materials (after quenching and tempering)

은 탄화물의 다량 석출이 영계수와 감쇄율의 증가에 큰 효과가 있는 것으로 보인다.

Table 4는 V-Cr 첨가 디스크와 STC5 디스크의 정

Table 4 Natural frequencies of different disk

Disk	V-Cr added		STC 5	
	stop	rotated	stop	rotated
1	243.33	246.19	72.88	79.85
2	243.58	246.38	82.45	86.67
3	287.45	291.16	107.42	116.73
4	455.72	459.23	233.30	240.86
5	764.49	767.53	425.62	431.98

지시와 회전시에 노달원(nodal circle)수를 0으로 한 경우의 고유진동수를 보인다. 이 경우에 모든 노달 직경(nodal diameter)수에서 V-Cr 첨가강재의 고유진동수는 STC5에 비해 고유진동수가 현저히 높으며, 회전시는 정지시에 비해 원심력에 의해 고유진동수가 약간 높게 되어 있으나, 이 정도의 상승으로는 원심력에 의한 디스크 강성의 증대는 그다지 기대하기 힘들다.

Fig. 4는 공회전시의 최대 진폭과 절단 가공시의 진폭에 미치는 디스크 재료 및 뜨임 온도의 영향을 보인다. Fig. 4에서 정지시의 진폭은 디스크 재료 및 뜨임 온도의 변화에 대한 영향을 그다지 받지 않는 것으로 보인다. 이것으로부터 디스크의 가로 방향 정밀도가 일정한 경우에는, 재료 성질의 영향은 거의 없는 것으로 판단된다. 그러나 절단시의 진폭은 모든 뜨임 온도에서 V-Cr 첨가 디스크가 STC5에 비해 현저히 낮으며, 뜨임 온도를 550°C로 한 때가 절단시의 진폭이 가장 낮다. STC5 강재는 뜨임 온도가 높을수록 진폭이 비례적으로 증가하는데, 이것은 뜨임 온도가 높을수록 강성이 낮아지기 때문으로 판단된다.

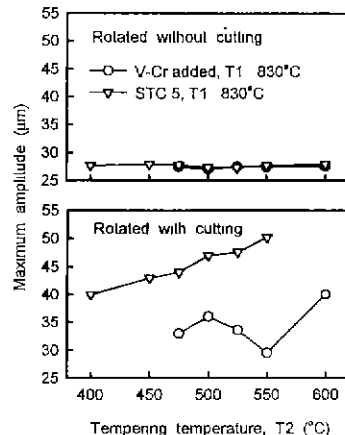


Fig. 4 Effect of tempering temperature on maximum amplitude during rotation with cutting and non-cutting

Fig. 5는 디스크 재료 및 뜨임 온도를 달리하여 300m 길이를 절단한 경우의 초경팁의 손상 개수를 보인다. V-Cr 첨가 강재는 STC5에 비해 모든 뜨임 온도에서 초경팁의 손상개수가 매우 적으며, V-Cr 첨가 강재는 550℃에서 뜨임한 디스크의 팁 손상이 가장 적으며, STC5 디스크는 450℃의 팁 손상이 가장 적다. Fig. 3에서 뜨임 온도 550℃의 감쇄율이 가장 낮았는데 초경팁의 손상에는 감쇄율이 큰 영향을 미치는 것으로 보인다. 한편 STC5의 경우는 450℃의 뜨임 온도에서 초경팁의 손상이 가장 적은데 STC5의 디스크를 사용한 경우에도 초경팁의 손상을 최소화하는 뜨임 온도가 존재함을 알 수 있다.

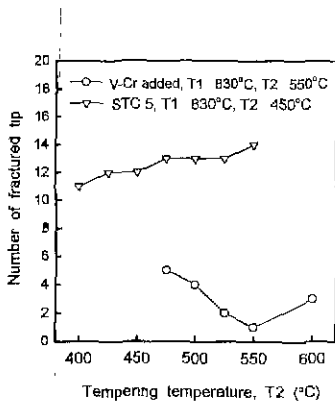


Fig. 5 Effect of tempering temperature on number of fractured tips (feed : 0.05mm/tooth)

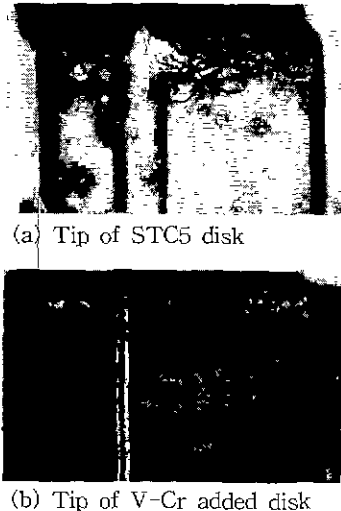


Fig. 6 Microphotographs of the tips worn after cutting with the circular saw of different disk materials (cutting length : 300m, feed : 0.05mm/tooth)

Fig. 6(a)는 STC5 디스크를 사용하여 300m를 절

단한 경우의 초경팁의 손상 형태를 보이며, Fig. 6(b)는 V-Cr 첨가 디스크를 사용한 등근톱으로 절단한 경우의 정상 마멸된 초경팁의 상태를 보인다. STC5 디스크를 사용한 경우의 초경팁의 손상 형태는 대규모 칩핑 및 파손이 발생되어 절삭날이 존재하지 않으며, V-Cr 첨가 디스크를 사용한 경우는 칩핑이 적고, 연삭마멸(abrasive wear)이 주 마멸 기구로 보인다.

한편, 이송속도를 변화시키고 디스크 재료를 달리하여 절단한 경우, 이송속도가 증가함에 따른 초경팁 손상 개수의 증가율은 STC5 디스크를 사용한 경우에 비해 V-Cr 첨가 디스크를 사용한 경우가 작다. 또한 V-Cr 첨가 강재는 STC5에 비해 모든 뜨임 온도에서 표면거칠기가 작으며, 특히 550℃의 뜨임 온도에서 표면거칠기 값이 가장 작았다. STC5 디스크는 뜨임 온도가 증가할수록 표면거칠기가 약간 증가되었다. 디스크 재료를 달리한 경우의 절단면의 현미경사진을 보면, STC5 디스크를 사용한 경우에는, 절단면의 이송 마크의 흔적은 V-Cr 강재를 사용한 경우보다 적게 나타나나, 체터링 진동에 의해 절단면이 손상을 입었음을 알 수 있었다.

4. 결 론

(1) V-Cr을 첨가한 디스크를 사용한 경우는 영계수와 감쇄율을 증가시키는 효과가 있으며, 영계수와 감쇄율의 증가는 초경팁의 초기 손상을 억제하는 효과가 있다.

(2) V-Cr을 첨가한 디스크의 적절한 열처리 조건은 담금질 온도 830℃에서 20분간 유냉하고, 550℃에서 60분 유지후 공냉하는 것이다. 이 조건에서 절단시의 초경팁 손상이 가장 적으며, 표면거칠기(R_{max})가 가장 작다.

(3) STC5 강재는 뜨임 온도가 낮을수록 경도는 크게 증가하나, 영계수 및 감쇄율은 그다지 크게 증가되지 않으며, 뜨임 온도가 높을수록 초기 파손된 초경팁의 개수는 증가한다.

(4) 이송속도가 증가함에 따른 초경팁 손상 개수의 증가율은 STC5 디스크를 사용한 경우에 비해 V-Cr 첨가 디스크를 사용한 경우가 작다.

참고문헌

- 1) 이재우, "초경팁 부착형 등근톱의 절단 특성", 한국정밀공학회 99년도 추계학술대회논문집, pp. 881-884, 1999.
- 2) 이재우, "초경팁 부착형 국산 등근톱의 성능 향상 사례", 두원공과대학 1999년도 산학협력 Workshop 논문집, pp. 234-239, 1999.