

## 論 文

## 경화처리된 합금 공구강 STD11의 선삭에서 칩 처리성에 관한 연구

노상래·안상욱\*  
인하대학교 기계공학과

## A Study on the Chip Control in Turning of Hardened Steel STD11

S.L. NOH and S.O. AN\*

Department of Mechanical Engineering, Inha University

## ABSTRACT

The chip controls are investigated experimentally for the purpose of estimating cutting ability of hardened steel. In this experiment, hardened STD11 steel(HR<sub>c</sub> 60) is turned with carbide tool M20 under various cutting conditions and with several tool shapes.

The main results obtained are as follows :

- 1) Cutting conditions of cutting speed 45m/min, feed 0.09-0.13 rev, depth of cut 0.4-0.6 are recommended for the chip excluding.
- 2) In case that the feed becomes larger and a lead angle of cutting tool becomes smaller, the chip excluding becomes easier.
- 3) It is confirmed that frank wear and crater wear on the cutting tool appear severely from about 10 min. after cutting start and chip excluding get worse.

## 1. 서 론

절삭가공의 목적은 소재를 일정한 가공 정밀도로 소정의 형상과 치수로 만드는 데 있다. 칩(Chip)은 절삭과정에서 얻어지는 불필요한 부산물이지만 칩 배출과 칩의 형태를 규명함으로써 절삭가공에서 발생하는 여러가지 문제점을 해결할 수 있는 매우 중요한 역할을 한다.

기계부품이 고도화됨에 따라 내열 합금, 고경도 합금 등의 난삭재 사용이 점차 증가하고 있으며 금형 등 고강도, 고경도가 요구되는 부재는 열처리하여 사용하는 경우가 많기 때문에 이러한 열처리된 고경도재의 절삭가공은 지금까지는 주로 특수한 가공 방법에 의존했지만

최근 공구 및 선삭가공 기술의 발달과 함께 점차 선삭가공으로 대체되고 있는 상황이다.

90년대에 들어서서 NC 기계의 사용이 날로 확산되고 있으며 가공 시스템의 자동화를 지향하고 있는 현상에서는 공구의 파괴와 칩 처리가 생산성에 중요한 문제로 제기되고 있다.

지금까지 1960년대 이후로 절삭현상에 대한 연구는 매우 활발하게 진행되고 있으며 특히 칩과 관련된 대표적인 연구는 다음과 같다.

F. Hashimoto<sup>1)</sup>가 탄소강을 이용하여 초경 P20 Insert tip으로 공구형상과 절삭조건에 따른 칩 배출에 관해서 실험했으며 K. Nakayama<sup>2)</sup>는 칩의 형태와 절

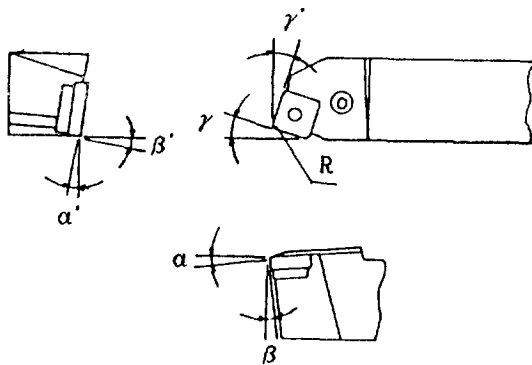
삭조건의 관계를 이론적인 방법과 실험적인 방법으로 규명했고 M. Masahiro<sup>3)</sup>는 3차원 절삭에서 SUS 304의 칩 형태와 절삭저항에 관한 예측적인 방법을 통하여 칩 처리에 관해서 연구했다. Y. Hasegawa<sup>4)</sup>는 SS41 강을 선삭할때 절삭조건에 따른 칩 브레이킹(Chip breaking)에 관해서 조사했으며 C. Nedess<sup>5)</sup>는 3차원적 형상의 경사각을 갖는 Insert를 사용했을 때 칩형태의 modelling을 실험을 통하여 분석하였다.

지금까지는 비교적 낮은 경도의 강은 일반 초경공구를 사용하고 있으며 고경도강에 대해서는 특수한 CBN(cubic boron nitride), Ceramic 등의 공구를 사용하여 실험되고 있다.

따라서 본 연구에서는 금형분야에 가장 일반적으로 널리 이용되고 있는 경화 처리된 STD11 강(HRc 60)을 일반 초경 공구로 선삭 실험하여 칩 배출에 관한 특성을 규명하고자 하였다.

Table 1. Chemical Composition of Specimen(wt.%)

Composition	C	Si	Mn	P	S	C	M	V
STD11	1.4	0.35	0.55	0.025	0.025	12.0	1.0	0.3



	$\alpha(^{\circ})$	$\beta(^{\circ})$	$\alpha'(^{\circ})$	$\beta'(^{\circ})$	$\gamma(^{\circ})$	$\gamma'(^{\circ})$	R(m)
A	-6	-6	6	6	15	15	0.8
B	-6	-6	6	6	30	30	0.8
C	-6	-6	6	6	45	45	0.8

Fig. 1. Shape and specification of cutting tools.

## 2. 실험 방법

### 2.1. 시험편

본 실험에 사용된 피삭재는 금형재료로 많이 이용되며 경화능이 우수한 합금공구강 STD11을  $\phi 50 \times 200$ mm로 예비 선삭가공후 경화처리 하였으며 이때 HRc 60의 경도를 얻었다. Salt bath와 Vacuum furnace에서 행한 열처리 조건은 Quenching (1030 $^{\circ}$ C로 가열하여 2시간 유지후 유냉)후 Tempering (2회에 걸쳐 180 $^{\circ}$ C로 가열하여 2시간 유지후 공냉) 하였다. Spectrometer를 이용하여 성분 분석한 시험편의 화학적 성분은 Table 1과 같다.

### 2.2. 절삭 공구

공구재종은 ISO 규격의 M20 계열을 선정하여 모재에 CVD(Chemical Vapour Deposition) 방법으로 TiN, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, TiC 층을 증착시킨 피복 초경합금 공구인 Throw-away Tip을 사용하였으며 사용 공구의 형상과 세원은 Fig. 1과 같다.

### 2.3. 절삭실험

절삭실험은 시험편을 선반척에 고정하여 센터로 견고히 지지하고 Table 2의 절삭조건을 적용하여 매 절삭마다 Insert를 새로운 것으로 교환하여 가공하였으며 절삭시 생성된 칩을 자료화 하기 위하여 절삭초기의 급격한 공구마모가 이루어진 후 절삭력이 안정된 상태에서 배출되는 칩을 채취하였다.

칩에 대한 분석은 Photo 1과 같이 CIRP와 일본 정밀공학회 절삭성 전문 위원회에서 검토되어진 결과<sup>6)</sup>와 ISO 규정을 기준으로 칩 길이가 10~50mm 범위의 것을 양호한 것으로 10mm 이하 또는 50mm 이상의 것은 불량한 것으로 간주하였다.

절삭력 측정은 Tool Dynamometer에 연결된 Amplifier를 통해 Oscillograph로 기록하여 절삭중의

Table 2. Cutting Conditions.

Cutting speed V(m/min)	Feed f(mm/rev)	Cutting depth d(mm)
25	0.05	0.2
45	0.09	0.4
88	0.13	0.6
	0.16	0.8

	A형	B형	C형	D형	E형
절입깊이 $d < 0.4\text{mm}$					
절입깊이 $d > 0.6\text{mm}$					
칩길이(L) 및 Curl	Curl 없음	$L > 50\text{mm}$ 연속형상	$L = 50\text{mm}$ 3~7권	$L = 10\text{mm}$ 2~3권	$L < 10\text{mm}$ 반권

Photo 1. Standard chip formation.

절삭력을 측정하였다. 공구 마모에 대해서는 절삭에 이용한 Insert를 Tool maker microscope와 Optical profile projector 및 광학금속 현미경을 통하여 관찰하였다.

### 3. 실험결과 및 고찰

#### 3.1 절삭조건과 칩처리

##### 3.1.1. 절삭속도

Photo 2는 절삭속도에 대한 칩 형상을 표시한 것이다. 절삭속도 25m/min에서의 칩은 일반적으로 칩의 길이방향의 양쪽에 미세한 칩상형의 균열이 발생하였으며 칩의 Curl 반경도 작게 나타났다. 특히 절삭 깊이가 0.4mm 이하의 범위 내에서는 칩의 권수도 1권 이하의 작은 칩이 생성되는데 이는 낮은 절삭속도에서 구성인선(Built-up edge)이 발생하여 절인의 경사각이 커지며 칩이 생성될 때 전단각이 증가하여 칩의 두께가 얇아지기 때문이라 생각된다.

절삭속도가 45m/min에서는 칩상형의 균열도 발생하지 않고 불연속성의 칩이 배출되었다. 또한 이 범위에서는 칩의 권수도 3~5권 정도이고 칩의 Curl반경이 커져 칩 처리가 쉬워졌는데 이는 구성인선이 중속 영역에서 소멸되기 때문이라 판단된다.

절삭속도가 88m/min인 영역에서는 절삭속도 25m/min에서와 같이 칩에 극심한 칩상형의 균열이 발생하며 Curl모양도 거의 볼 수 없는 연속성의 칩이 배출되어 칩 처리가 불량하게 나타났는데 이는 고속 절삭으로 인한 고경도재 가공에 대한 공구인선의 극심한 마모 때문이라 사료된다.

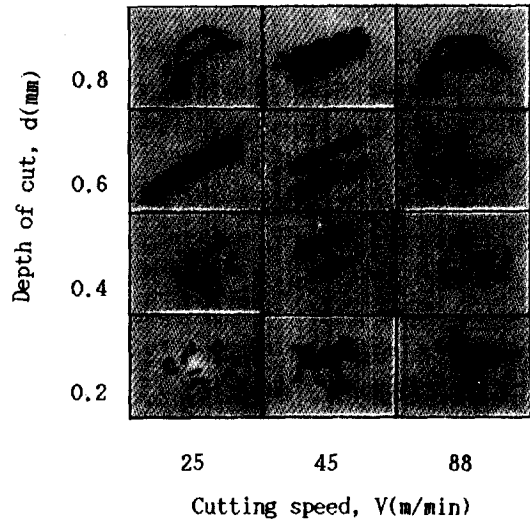


Photo 2. Chip configuration about variation of cutting speed.

Tool shape : -6, -6, 6, 6, 15, 15, 0.8  
Feed : 0.09mm/rev

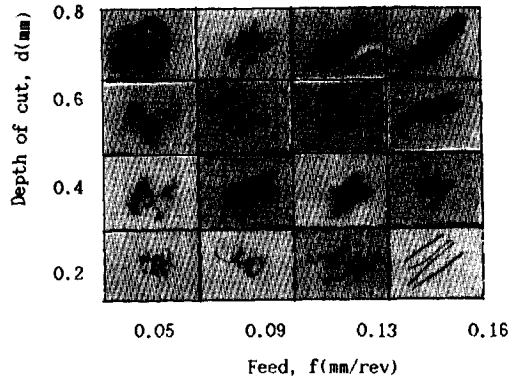


Photo 3. Chip configuration about variation of feed.

Tool Shape : -6, -6, 6, 6, 15, 15, 0.8  
Cutting speed : 45m/min

##### 3.1.2. 이송

Photo 3은 이송의 크기에 대한 칩형상의 관계를 나타낸 것이다. 이송이 작을때 칩의 컬 반경은 크고 이송이 증가하면 Curl의 곡률 반경은 작아지며 칩의 배출은 양호하게 나타났다. 이송이 0.05mm/rev에서 칩의 배출

이 불규칙 하고 under control 상태가 되어 절삭에 방해 를 일으켰으나 이송이 0.09~0.13mm/rev 범위에서는 비교적 불연속성의 양호한 칩이 배출되어 칩처리성이 급격히 향상되었다. 0.16mm/rev의 이송에서는 연속성의 긴 칩이 배출되는 경향이 관찰되었는데 이유는 이송이 증가하면 절삭비(Cutting ratio)가 감소하기 때문이라 사료된다.

반면 이송이 증가하더라도 절삭깊이가 0.2mm 정도로 작으면 칩 배출이 불량하게 나타났는데 이는 절삭시 공구의 경사면과 피가공물 면과의 심한 마찰에 의해 소재의 표면에 가공경화가 발생하고 공구가 가공경화층의 표면에 접하여 가공되기 때문이라 생각된다.

### 3.2. 리드각

Fig.2는 리드각(Lead angle :  $\gamma$ ) 변화에 대한 절삭 저항과 칩 배출과의 관계를 나타낸 것이다. 리드각이 증가할수록 배분력과 주분력은 증가하였으며 이송분력은 감소하는 경향이 나타났는데 이는 리드각이 증가하면 칩의 두께는 얇아지나 절삭되는 인선(Cutting edge)의 길이가 길어지기 때문에 이것이 배분력과 주분력의 중

가에 영향을 미치며 반면 리드각이 증가하면 실질 이송이 작아지는 효과가 있기 때문에 이송분력이 다소 감소한 것으로 판단된다.

리드각이 커지면 칩의 두께가 얇아지고 칩의 곡률반경이 큰 칩이 발생되어 칩 처리는 리드각이 작을때 발생하는 곡률 반경이 작은 칩보다도 다소 불량 하게 나타났다.

### 3.3. 공구마모와 칩의 형상

Photo 4는 절삭 진행에 따른 공구마모 진행과 배출된 칩 형상과의 관계를 실험한 것이다.

(a)는 절삭 초기에 발생한 공구의 초기 마모 상태와 그때 배출된 칩의 형상이다. 칩의 곡률 반경은 작으며 비산성이 강한 불연속성 칩이 배출됐는데 이는 새로운 공구의 극심한 초기 마모 현상 때문이라 생각된다.

(b)는 가공 개시 5분 경과후의 공구마모 상태와 그때 배출된 칩을 나타낸 것이다. 칩의 곡률 반경도 약간 커지고 비교적 칩 처리가 양호한 칩이 배출됐는데 이는

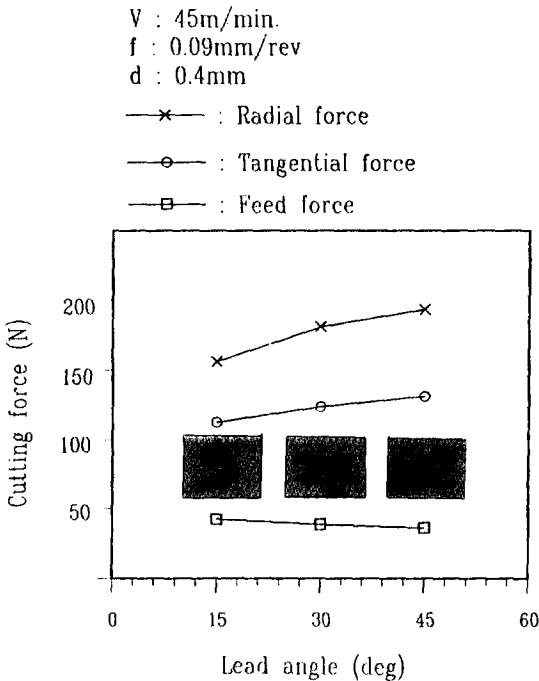


Fig.2. Variation of actual chip formation and cutting force due to lead angle.

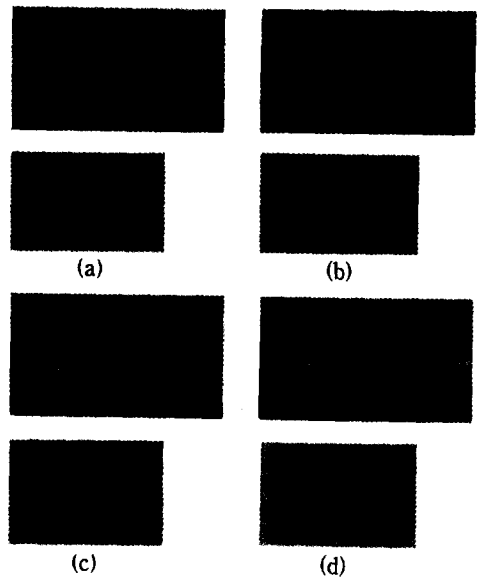


Photo 4. Relation between tool wear and obtained chip configuration.

(a) T=1min, (b) T=5min, (c) T=10min, (d) T=15min.

Tool shape : -6, -6, 6, 6, 15, 15, 0.8

Cutting speed : 45m/min

Depth of cut : 0.6mm

Feed : 0.09mm/rev

절삭 과정이 진행함에 따라 공구의 초기 마모가 완료되어 공구인선이 비교적 안정된 상태에서 절삭되는 과정이라 생각된다.

(c)는 가공 개시후 10분 경과시의 상태를 표시한 것이다. 칩의 곡률반경이 (b)경우 보다는 다시 작아지고 칩 양측에 침상의 형상이 나타났는데 이때 공구에는 플랭크 마모(Flank wear)와 크레이터 마모(Crator wear)가 발생하며 칩에 침상형의 발생은 고경도강 절삭에 대한 플랭크 마모의 원인이라 판단되며 칩의 곡률 반경 감소와 불연속성은 공구의 경사면에 발생한 크레이터 마모가 칩 브레이커(Chip breaker)의 역할을 했기 때문이라 사료된다.

(d)는 가공후 15분 경과시의 상태이다. 칩에 층상 조직을 갖는 이상 흔적이 나타났으며 칩의 길이 방향으로 구김 현상도 관찰되었다. 이는 공구 절삭날의 마모가 더욱 진전되어 플랭크 마모 부위와 크레이터 마모 부위가 서로 맞닿아 칩 브레이커의 기능도 저하되고 절삭날의 정도가 노화하여 그 노화된 절인 상태가 높은 열을 받아 생성되는 칩에 전사되었기 때문이라 사료된다.

3.4. 절삭비와 칩 형상

Fig.3은 절삭속도 변화에 따른 Cutting ratio ( $r_c = t_1/t_2$ ,  $t_1$ : 절삭깊이,  $t_2$ : 칩 두께)의 관계를 나타냈고 Photo 5는 그때에 배출된 칩을 나타내었다. 낮은 절삭

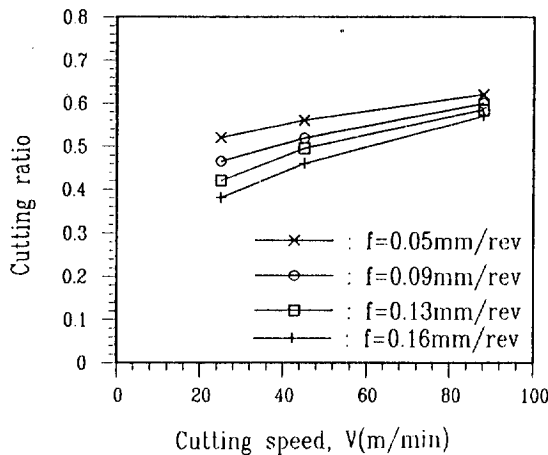


Fig. 3. Relation between cutting speed and cutting ratio with respect to variation of feed.  
 tool shape : -6, -6, 6, 6, 15, 15, 0.8  
 Depth of cut : 0.6mm

영역에서 절삭비가 작고 절삭속도가 증가하면 절삭비도 비례하여 증가하는 경향이 있으며 이송이 클때 보다도 이송이 작을때 Cutting ratio가 높게 나타났다.

절삭속도 25m/min 영역에서는 Cutting ratio가 작게 나타났는데 이는 낮은 절삭속도에서 Built-up edge가 발생하여 절삭날의 경사각(Rake angle)이 커졌기 때문이며 이로 말미암아 곡률반경이 작은 칩이 배출된 것으로 사료된다. 한편 절삭속도의 증가에 비례하여 Cutting ratio도 증가하였으며 칩의 곡률 반경도 크게 나타났는데 이는 절삭속도가 증가하므로 Built-up edge도 소멸되었기 때문이라 판단된다.

이송의 변화에 대한 Cutting ratio와 칩 형상의 관계는 이송이 증가 할수록 Cutting ratio는 감소하고 칩의 곡률 반경도 작아져서 칩 처리가 양호하게 나타났는데 절삭속도와 절삭깊이를 일정하게 유지하고 이송을 증가

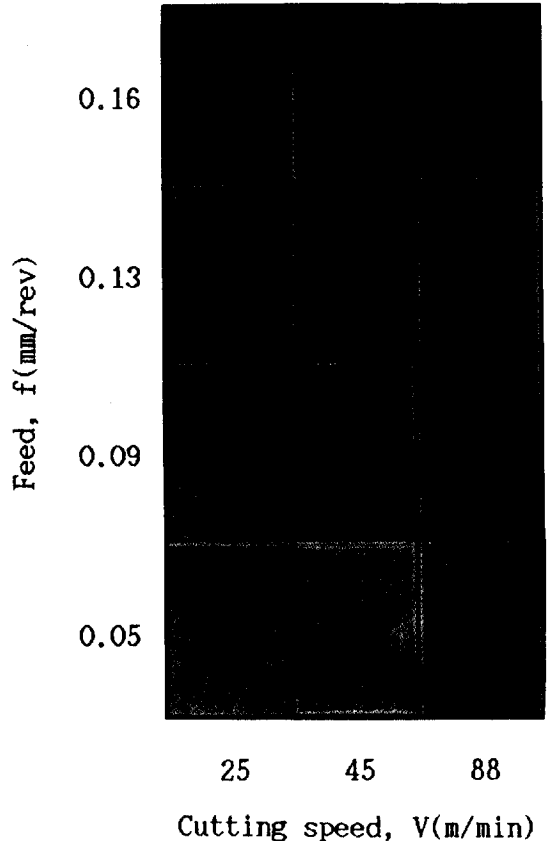


Photo 5. Chip configuration obtained with conditions shown in Fig. 7.  
 Tool shape : -6, -6, 6, 6, 15, 15, 0.8

시키면 상대적으로 칩의 단면비( $d/f$ ,  $d$ : 절삭깊이,  $f$ : 이송)가 적어지기 때문에 칩의 곡률반경이 작아진 것으로 판단된다.

#### 4. 결 론

경화처리된 합금공구강 STD11(HRC 60)을 초경공구 M20으로 절삭하여 칩 처리성에 대한 선삭 실험을 한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 칩 처리성에 관한 절삭조건은 절삭속도 45m/min, 이송 0.09~0.13mm/rev, 절삭깊이 0.4~0.6mm에서 가장 우수하게 나타났다.
- 2) 공구의 리드각이 작을수록 절삭저항이 적고, 칩 처리성이 우수하게 나타났다.
- 3) 절삭개시 10분 이후부터 공구의 플랭크 마모와 크레이터 마모가 심하고 이때 칩 생성이 불량하게 나타났다.
- 4) 이송이 클수록 절삭비가 감소하고 칩 처리는 우수하게 나타났다.

#### 5. 참 고 문 헌

1. F. Hashimoto, N. Yamasaki, H. Kuise, "The Mechanism of Three-dimensional Cutting Operations (Part 5)," Bull Japan, Soc. of Prec. Eng., Vol.32 No.11 (1966).
2. K. Nakayama, "Study on the Form of Chip in Metal Cutting," Bull Japan, Soc. of Prec. Eng., Vol.38 No.7 PP.592-598 (1972).
3. M. Masuda, T. Hara, S. Kasei, "Studies on the Chip Control in Cutting," Bull Japan, Soc. of Prec. Eng., Vol.47 No.5 PP.529-534 (1981).
4. Y. Hasegawa, S. Hanasaki, J. Fujiwara, T. Wada, "Study of Chip Breaker," JSPE-56-07, PP.1211-1217, (1986).
5. C. Nedess, W. Hintze, "Characteristic Parameters of Chip Control in Turning Operations with Indexable Inserts and Three-Dimensionally Shaped Chip Formers," Annals of the CIRP Vol. 38/1 (1989).
6. W. Koenig, M. Klinger, R. Link, "Machining Hard Materials with Geometrically Defined Cutting Edges," CIRP, Vol.39/1, PP.61-64 (1990).
7. S. Enomoto, M. Kato, "Cutting Characteristics of CBN Cutting Tool in Turning Chromium-Molybdenum Steels of Various Hardness," JSPE-55-06, PP.1079-1084 (1989).
8. 能上進, 旋削加工における切りくす処理技術, 機械技術, 第27巻, 第11號, PP.117-122 (1979).