

칩브레이커의 形狀과 切削條件이 칩 切斷과 표면거칠기에 미치는 影響

Effect of Chip Breaker Shape and Cutting Condition on the Chip Breaking and Surface Roughness

나 기 철*·태 순 호*·이 병 곤*

Ki-Chul Ra·Soon-Ho Tae·Byung-Kon Lee

ABSTRACT

Chip breaking is important in lathe work for maintaining good surface of the products and safety of operator. The purpose of this study is to investigate the performance of chip breaking and chip shape resulted from the carbide inserts with grooved type and obstruction type chip breaker.

Experiments have been performed under the following cutting conditions; (1) constant cutting speed with variable depth of cut and feed rate, (2) constant depth of cut with variable cutting speed and feed rate. Also, the flying distance of chip and it's distribution have been investigated.

As a results, good performance of chip breaking can be obtained for small radius of curvature and land width of grooved type chip breaker. And the thickness of chip increase with the increase of feed rate and decrease of cutting speed, and the chip breaking becomes easier with the increase of chip thickness due to the large deformation rate. Obstruction type chip breaker shows better performance of surface roughness than the grooved type. The flying distance of the chips over 90% are less than 1 meter, and the distance decreases as the feed rate decreases.

1. 서 론

선반으로 공작물을 가공할 때 발생하는 연속적인 칩(chip)은 공작물의 표면을 손상, 공구의 파손 및 이를 절단하기 위해 기계를 자주 멈추어 생산능

률이 저하되고 또한, 칩이 공구와 피삭재 주위에 얽혀서 함께 회전함에 따라 작업자의 손이나 옷자락이 감겨 들어가거나 하여 재해를 유발시킨다.

따라서, 이러한 연속적인 칩의 처리가 절삭가공에서 해결 되어야 할 중요한 문제중의 하나가 되었다. 이를 위해 이용되는 칩브레이커에는 Fig. 1(a)

* 충북대학교 산업안전공학과

와 같은 홈형(groove type)^{1,2)}과 Fig. 1(b)와 같은 돌기형(obstruction type)^{3,4)}이 있다.

본 연구의 목적은 국내에서 생산되는 홈형 및 돌기형의 칩브레이커를 갖는 초경합금 인서트를 사용하여, 일정한 절삭속도에서 절삭깊이와 이송속도를 변화하였을 때의 칩의 형상과 절단에 대한 실

험, 일정한 절삭깊이에서 절삭속도와 이송속도 변화에 대한 칩의 표면거칠기를 분석하고 또한, 칩의 비산거리와 그 분포도를 측정하여 선삭가공에서의 칩브레이커의 형상과 절삭조건에 따른 칩의 절단성능의 규명 및 재해 예방대책을 세우고자 한다.

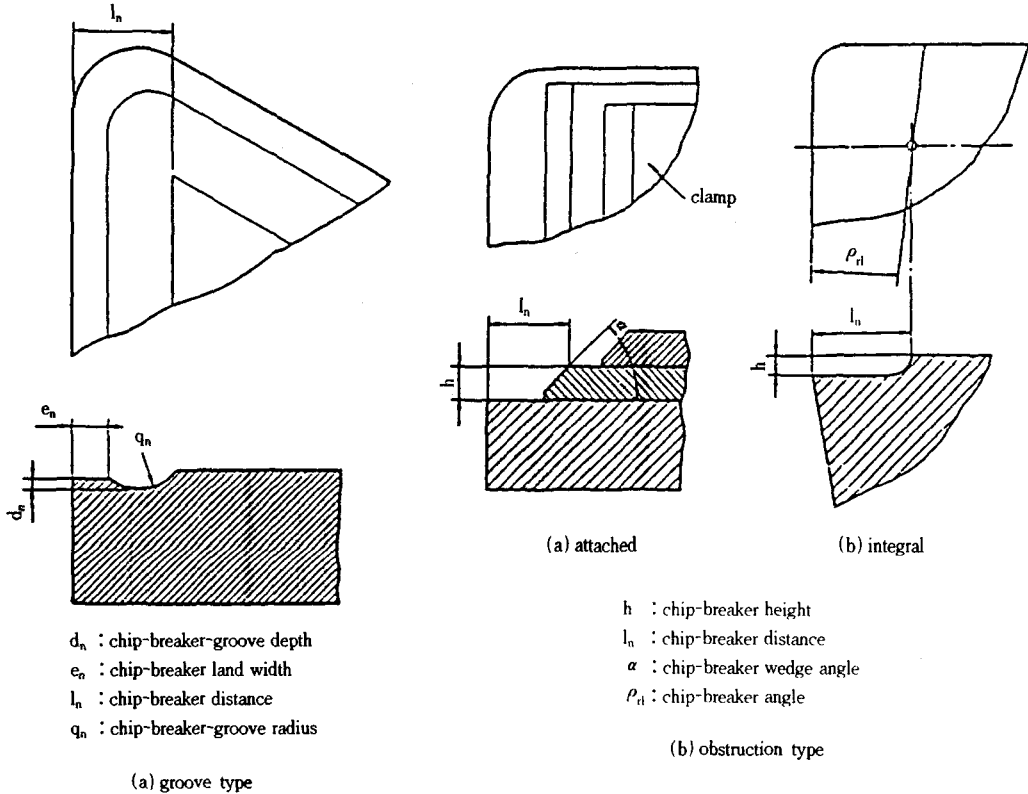


Fig. 1 Two typical type of chip breaker

2. 이론

2.1 칩의 분류

칩의 분류는 부피나 형태로 분류하는 방법이 있으며 부피로 분류하는 방법은 R(bulk ratio)로 정의하며, 이 체적비를 사용하여 다음과 같이 분류한다.

$$\text{bulk ratio}(R) = \frac{\text{total volume occupied by the chip}}{\text{volume of solid chip material}}$$

절단되지 않은 연속한 칩의 경우 : R=50 정도,

조밀하게 감겨진 칩 : R=15 정도,

잘게 부서진 칩 : R=3 정도.

또한, 칩의 형태 따른 ISO분류⁵⁾는 리본형, 튜브형, 스파이럴형, 원통나선형, 원추나선형, 원호형, 잘게 부서진 형, 바늘형의 8가지로 분류하고 각각에 대해 細분류하고 Henriksen⁶⁾은 칩의 분류방법을 7가지로 분류하였다.

2.2 칩의 만곡과 절단

Fig. 2는 칩브레이커가 없는 마이트로 선삭가공

할 때 칩의 만곡과 성장과정을 도기한 것이다⁶⁾. Fig. 2(a)는 칩의 만곡 초기로서 곡률반경이 ρ_0 이며 (b)와 같이 칩의 끝이 미절삭면에 충돌할 때까지 ρ_0 로 유지된다. 칩이 (c)의 점 E에서 충돌후에는 곡률반경이 ρ 로 커지게 된다.

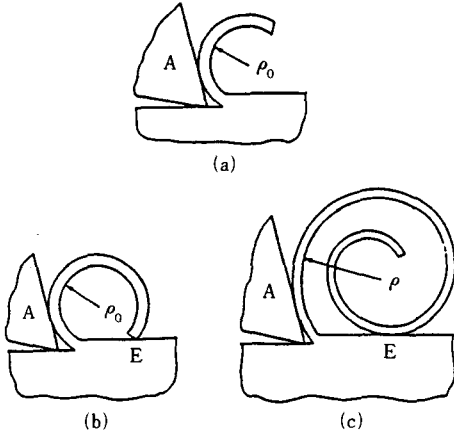


Fig. 2 Procedure of chip curling⁶⁾

칩은 항상 초기곡률반경 ρ_0 를 유지하려는 성질 때문에 Fig. 3에서 바이트상면의 점 A에서는 반대 방향으로 굽힘응력을 받아 칩은 소성변형된다. 칩과 미절삭면 사이에 작용하는 굽힘모멘트(M_b)가 한계치에 달하면 칩은 절단된다.

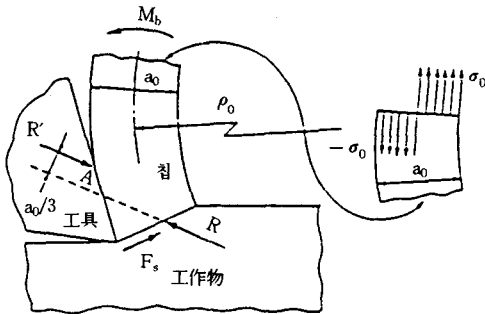


Fig. 3 Bending moment and chip breaking⁶⁾

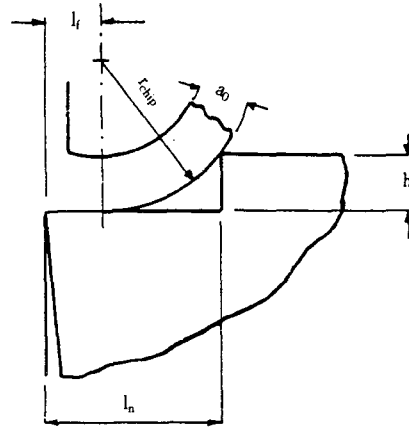
2.2 칩브레이커와 칩의 곡률반경

칩브레이커는 홈이나 돌기로 칩의 유동을 유도하여 칩의 곡률반경을 작게 하여 연속적인 긴 칩을 짧게 전단시켜 칩이 엉키는 것을 방지한다.

Fig. 4는 integral obstruction-type 칩브레이커로⁴⁾, 칩의 곡률반경(r_{chip})은 다음과 같이 표시된다.

$$r_{chip} = \frac{(\ln - a_0)^2}{2h} + \frac{h}{2} \dots \dots \dots (1)$$

l_f = contact length between the chip and tool
 \ln = chip-breaker distance, h = chip-breaker height
 a_0 = chip thickness



l_f = contact length between the chip and tool
 \ln = chip-breaker distance, h = chip-breaker height
 a_0 = chip thickness

Fig. 4 Chip radius of curvature in integral obstruction-type chip breaker

Fig. 5는 attached obstruction-type 칩브레이커로⁴⁾, 칩의 곡률반경(r_{chip})은 다음과 같이 표시된다.

$$r_{chip} = [(\ln - a_0) - (h \cot \alpha)] \cot \frac{\alpha}{2} \dots \dots \dots (2)$$

Fig. 6의 홈형 칩브레이커는 바이트 상면에 반지름 q_n 의 홈을 낸 것으로서, 칩브레이커 랜드 폭 (e_n)이 칩과 공구 접촉길이(l_f)보다 크면 칩브레이커 역할을 하지 못한다. 즉 $e_n < l_f$ 일 때에 칩은 홈을 따라 유동하고 홈의 반지름 q_n 의 곡률반경을 갖는다. 그러나 홈의 반지름 q_n 이 너무 작으면 바이트 상면이 크게 마모되지 않는 한 칩은 홈을 따라 유동하지 못한다.

그래서 l_f 를 a_0 와 같다고 가정하고, e_n 이 a_0 보다 적을 때, 칩의 반경 r_{chip} 은 칩브레이커 홈의 반지름 q_n 과 같으며 칩의 반경(r_{chip})과 칩 두께 a_0 가 칩 절

단에 중요한 인자이다.

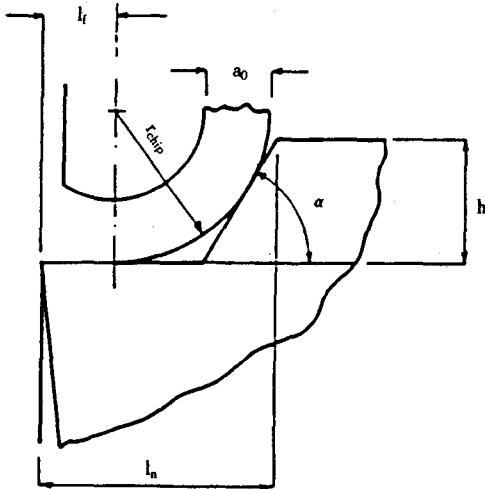


Fig. 5 Chip radius of curvature in attached obstruction-type chip breaker

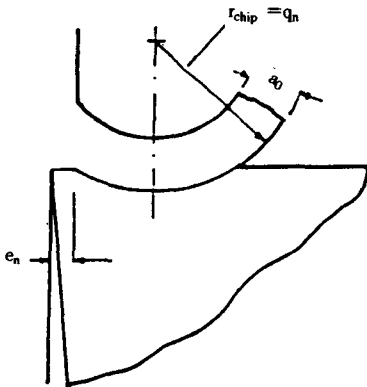


Fig. 6 Chip radius of curvature in groove type chip breaker

$$r_{chip} = q_n \dots \dots \dots (3)$$

3. 실험

3.1 칩의 형상 및 절단실험

공구의 칩브레이커 형상에 따라 절삭속도, 이송속도 및 절삭깊이 변화시에 칩의 절단형상, 칩의

두께변화 및 칩의 비산분포 등을 규명하도록 하였다.

3.1.1 선반

본 연구를 수행하는데 사용된 선반은 범용선반이며 규격은 Table 1에 나타내었다.

Table 1 Specification of lathe

swing over bed	400mm	bed	300×1580mm
distance between center	750mm	range of spindle speeds	59-1400rpm

3.1.2 절삭조건

실험에 사용한 피삭재는 직경 30-40mm의 재질 SM45C의 연강을 사용했으며, 그 화학성분은 Table 2와 같다.

Table 2 Chemical composition of workpiece material

Chemical Composition(%)				
C	Si	Mn	P	S
0.42-0.48	0.15-0.35	0.6-0.9	<0.030	<0.035

Table 3은 일정한 절삭속도 132m/min에서 이송속도를 0.10-0.50mm/rev, 절삭깊이를 0.25-2.00mm로 변화하였을 때의 칩의 형상과 절단실험에 대한 절삭조건이다.

Table 3 Experiment cutting conditions

cutting condition	cutting speed(m/min)		132				
	feed rate(mm/rev)		0.10	0.20	0.30	0.40	0.50
	depth of cut(mm)		0.25	0.50	1.00	1.50	2.00

절삭속도와 이송속도 변화에 대한 칩의 형상과 절단실험에 대한 절삭조건은 실제가공 속도를 고려하였으며 Table 4와 같이, 일정한 절삭깊이 1.0mm에서 절삭속도를 88, 132, 189m/min, 이송속도를 0.10-0.40mm/rev로 변화하였다.

Table 4 Experimental cutting conditions

cutting speed(m/min)	88	132	189	
depth of cut(mm)	1.0			
feed rate(mm/rev)	0.1	0.2	0.3	0.4

3.1.3 공구

실험에 사용한 초경합금 인서트는 국내의 2개 제조업체중 한 곳의 제품중 Fig. 7과 같은 B20, B25, D05, D10, D25의 5가지를 사용하였고 Fig.

8은 칩브레이커 단면의 확대도이다. B20 인서트는 Fig. 1(a)와 같은 전형적인 홈형(groove type)의 칩브레이커를 갖는 형태로 경질삭 및 중사상용이다. B25 인서트는 같은 형식으로 Fig. 8에서와 같이 홈의 곡률반경이 B20보다 작은 중사상 및 황삭용이다. D05 인서트는 Fig. 1(b)와 같은 돌기형(dot type)으로 대각선 방향으로 작은 돌기와 그 바로 뒤에 큰 두개의 돌기를 갖는 3개의 삼각형모양의 돌기형이다. D10 인서트는 파도형 dot type으로 대각선 방향에는 큰 돌기 2개가 겹쳐 있고 변부에는 파도형의 홈이 있는 형태로 경질삭에서 중질삭까지 넓은 범위에 사용된다. D25 인서트는 대각선 방향으로 D05의 작은 돌기와 D15의 큰 돌기 2개를 조합한 형태로 중사상 및 황삭용이다.

l	d	t	r
12.9	12.7	4.76	0.4

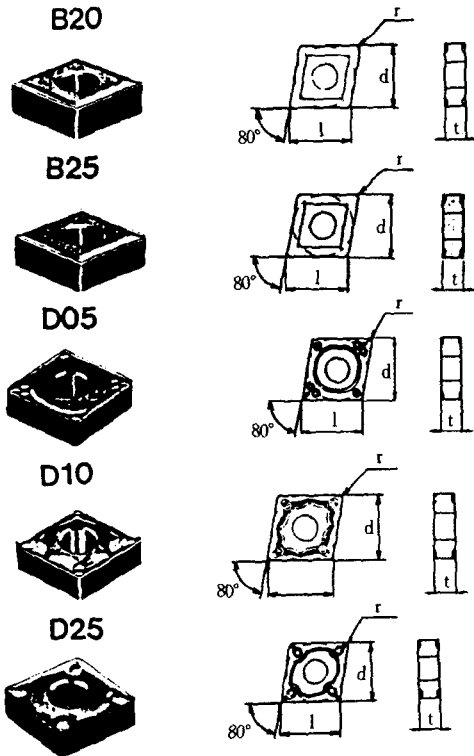


Fig. 7 Carbide coated inserts

Fig. 8에서 B20, B25는 변부방향 단면형상이며 D05, D10, D25는 대각선 방향의 단면형상으로 형상측정기로 확대측정하여 나타낸 것이다.

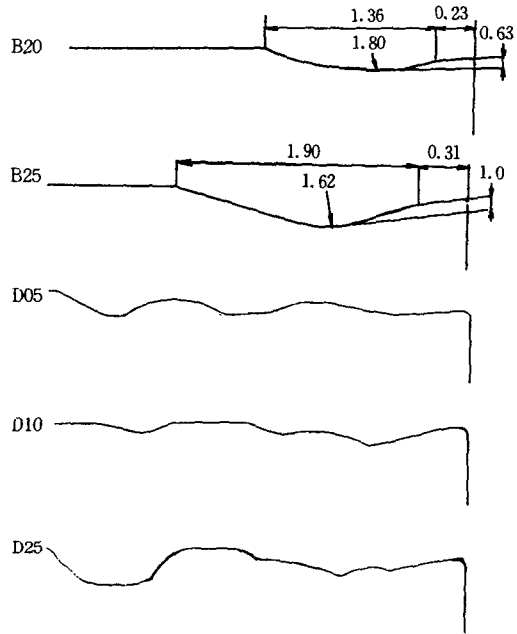


Fig. 8 Geometry of chip breaker

3.2 표면거칠기 측정

Fig. 9는 본 연구에서 사용한 축침식 표면거칠기 측정기로서, 표면거칠기는 중심선 표면거칠기 $R_a(\mu m)$ 값으로 표시된다. 가공물의 측정 위치는 선반의 척에서 10mm 떨어진 곳에서 부터 8mm 구간을 측정하였다.

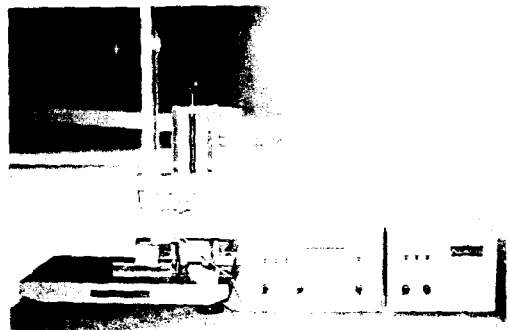


Fig. 9 Stylus type surface roughness tester

4. 실험 결과 및 고찰

4.1 이송속도와 절삭깊이 변화에 대한 칩의 형상과 절단

B20 인서트는 전술한 바와 같이 홈형의 칩브레이커 형태로서, 절삭속도 132m/min에서 이송속도

와 절삭깊이를 각각 5단계로 변화시켜 절삭한 결과 칩의 형상을 나타낸 것이 Fig. 10이다. 그림에서와 같이 절삭깊이 1.5mm 이상, 이송속도 0.2mm/rev 이상과 절삭깊이 1.0mm 이상 이송속도 0.3mm/rev 이상 일때 칩이 절단되었다. 절단된 칩의 모양은 절삭깊이 2.0mm, 이송속도 0.5mm/rev에

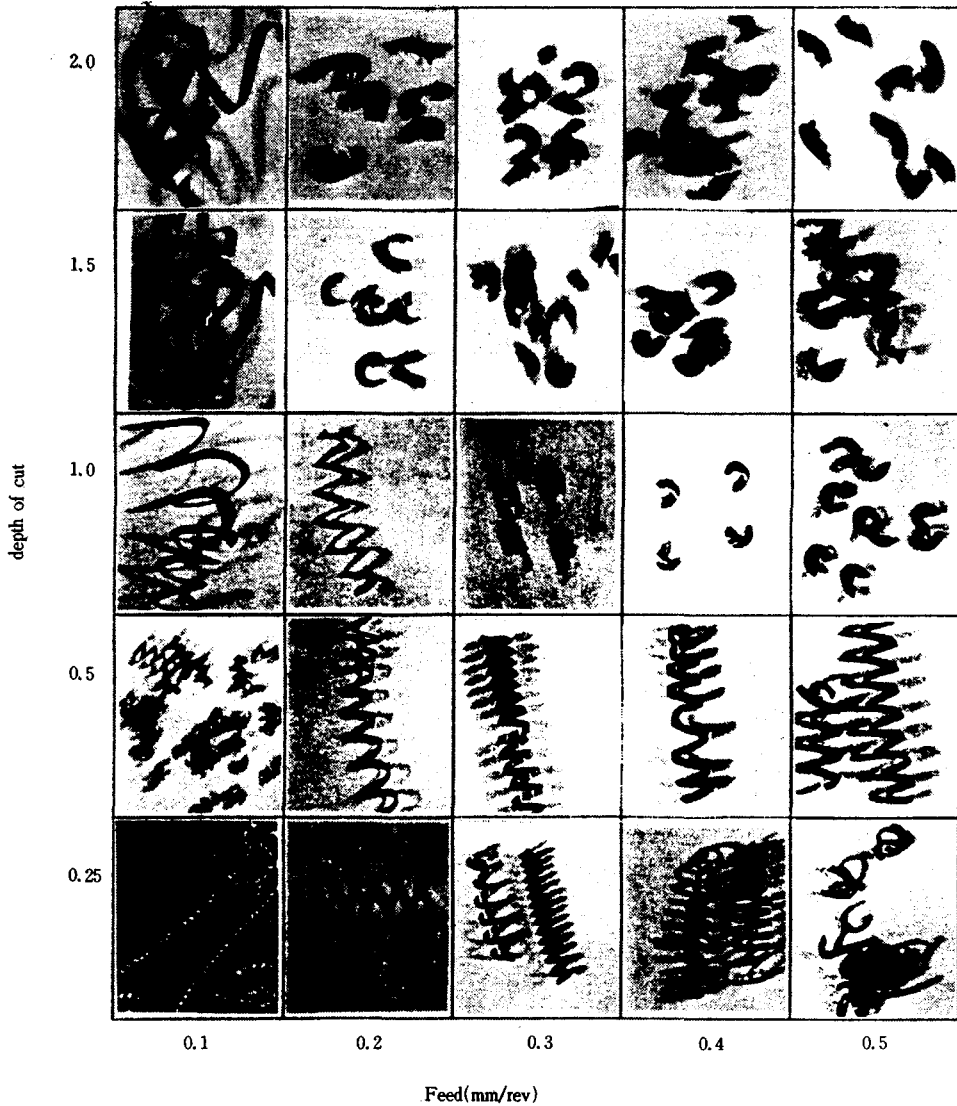


Fig. 10 Chip formation related with the feed rate and depth of cut for the B20 inserts(cutting speed : 132m/min)

서는 잘게 절단된 splinter형이고 나머지는 half turn이나 full turn의 형상을 나타낸다. 절삭깊이 1.0mm와 이송속도 0.1mm/rev 일때 절삭깊이 1.0mm이상에서는 절단되지 않고 영킨 칩이 생성된다. 또한 절삭깊이 0.5mm이하에서는 이송속도에 관계없이 절단되지 않고 나선형의 칩이 생성된다.

4.1.2 B25 인서트를 사용한 경우

B25 인서트도 홈형의 칩브레이커 형태로서, 칩이 절단되는 영역은 절삭깊이 1.0mm이상, 이송속도 0.3-0.5mm/rev일때이며 절단된 칩은 half turns의 형상이다. 깊이 2.0mm, 이송속도 0.3mm/rev이하에서는 칩이 절단되지 않았다. B25는 칩브레이커의 곡률반경이 B20보다 작아서 절삭깊이 1.0mm에서도 절단되었으나, 칩브레이커 랜드 폭이 길어서 이송속도 0.2mm/rev에서는 절삭깊이가 1.0mm보다 커도 B20과 달리 절단되지 않는다. 즉, 칩브레이커의 곡률반경이 작아지고 칩브레이커 랜드 폭이 길면 절삭깊이가 커져도 절단되지 않는다.

이상에서 홈형(groove type) 칩브레이커에서는 칩브레이커의 곡률반경이 크고 랜드 폭이 작아질수록 절단능력이 향상되는 것을 알 수 있다.

절삭깊이 0.5mm 이하에서는 원통나선형 칩의 형상이며 절삭깊이 2.0mm, 이송속도 0.1-0.3mm/rev에서는 튜브형 칩이다.

4.1.3 D05 인서트를 사용한 경우

D05 인서트는 단순한 홈형에서 더욱 발전된 dot type 칩브레이커로서 이송 0.1mm/rev, 절삭깊이 2.0mm일 때를 제외하면, 절삭깊이 1.0mm 이상일 때는 이송속도 0.1-0.5mm/rev 전체에서 칩이 절단되었으며, 이송속도 0.1-0.2mm/rev에서는 절삭깊이가 0.5mm에서도 칩이 절단되어 B20, B25의 홈형 칩브레이커보다 절단범위가 더 넓고, 절단된 칩의 형상이 half turns으로 더 잘게 절단된다. 절삭깊이 0.5mm 이하에서는 칩이 절단되지 않으며, 칩의 형상은 원통나선형이다.

4.1.4 D10 인서트를 사용한 경우

D10 인서트는 파도형 dot type으로 이송속도 0.1mm/rev, 절삭깊이 2.0mm일 때를 제외하면, 절삭깊이 1.0mm 이상일때는 이송속도 0.1-0.5mm/rev 전체에서 칩이 절단 되었으나, D05와 달리 절삭깊이 0.5mm에서는 칩이 절단되지 않았다.

절삭깊이 0.5mm를 포함하여 그 이하에서는 이송속도에 관계없이 칩이 절단되지 않았고 칩의 형상은 원통나선형이었다.

4.1.5 D25 인서트를 사용한 경우

D25 인서트는 작은 돌기와 두 개의 큰 돌기의 조합형으로 D10과 달리 이송속도 0.1mm/rev에서는 칩이 절단되지 않았다.

이에 따라 칩이 절단되는 절삭조건은 이송속도 0.2mm/rev이상 절삭깊이 1.0mm 이상일 때이며, D10과 같이 절삭깊이 0.5mm이하에서는 칩이 절단되지 않는다.

D05, D10, D25인서트들의 절단 성능은 유사하나, D25는 이송속도가 0.1mm/rev에서 절단되지 않아 D05, D10보다 절단 성능이 다소 떨어지며, 4-1-4에서 기술한 바와 같이 D05보다 D10이 절단 성능이 다소 떨어져서, 절단 성능은 D05, D10, D25순으로 우수하다.

4.2 절삭속도 변화에 대한 칩의 형상과 두께

절삭깊이를 1.0mm로 일정하게 하고 절삭속도 ($V_1=88, V_2=132, V_3=189\text{m/min}$)를 달리하여 각각의 인서트에 대한 칩의 형상과 절단을 실험한다.

4.2.1 각각의 인서트에 대한 칩의 형상

Fig. 11은 B20 인서트를 사용한 경우로서, 절삭속도 88m/min에서는 이송속도 0.4mm/rev에서만, 절삭속도 132m/min, 189m/min 에서는 이송속도 0.3mm/rev이상에서 칩이 절단되는데, 이것은 이송속도가 크면 절삭두께가 커져서 절삭저항이 커지는 때문이다. 반대로, 0.2mm/rev이하 이송속도에서는 칩브레이커의 곡률반경 효과가 없다. B25 인서트를 사용한 경우는 절삭속도 132m/min, 이송속도 0.3mm/rev 이상에서만 칩이 절단되고 속도가 더 빠르거나 늦어도 절단되지 않는데, 이것은 B20 인서트보다 칩브레이커의 랜드 폭이 길어서 속도가 더 빠르거나 늦어도 홈형의 칩브레이커를 따라 유동하지 않고 연속적인 칩이 형성되기 때문이다. D05, D10, D25 인서트를 사용한 경우는 절삭속도 189m/min 이송속도 0.1mm/rev에서만 모두 칩이 절단되지 않고, 기타 모든 이송속도와 절삭속도에서 칩이 절단되어 홈형의 칩브레이커보다

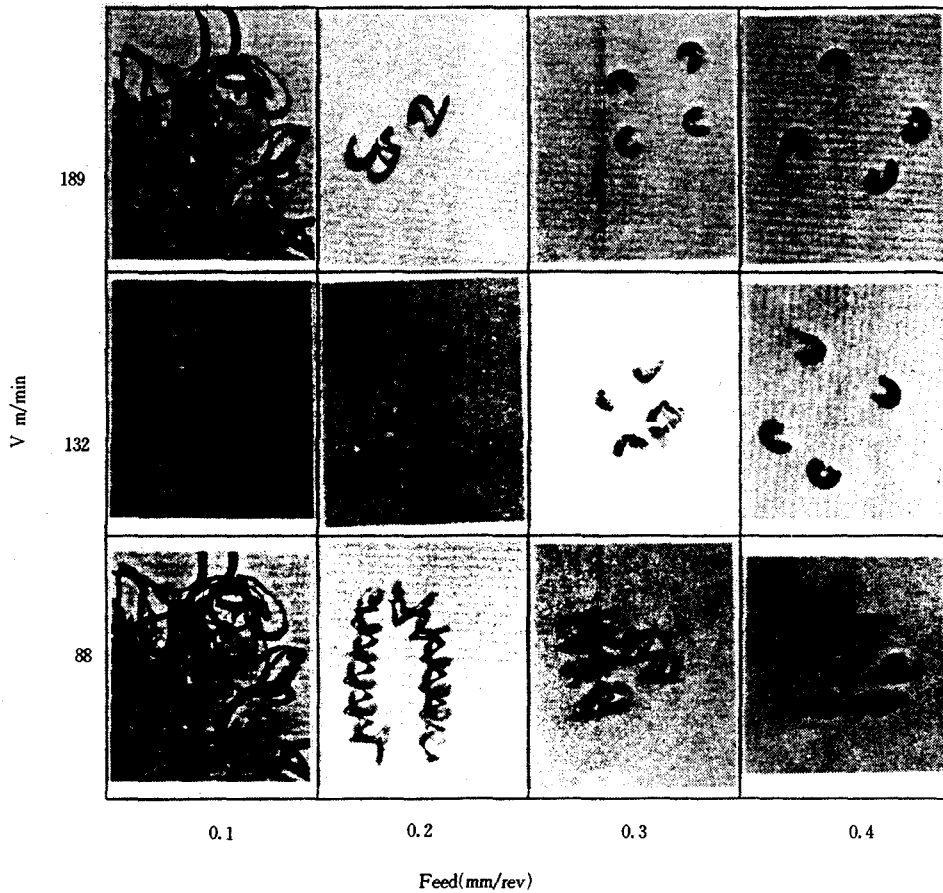


Fig. 11 Feed-cutting speed for the B20 insert(depth of cut 1.0mm)

절단성능이 우수하다.

이상에서, 흠형 칩브레이커의 절단성능은 절삭속도와 이송속도에 크게 영향을 받으나, 돌기형 칩브레이커는 절삭속도와 이송속도의 영향이 적음을 알 수 있다.

4.2.2 칩의 두께

Table 5는 B25, D25인서트에 대하여 절삭속도와 이송속도변화에 대한 칩의 두께를 나타낸 것이다. Fig. 12은 Table 5의 두께의 변화를 나타낸 것이다. 절삭깊이는 1.0mm로 일정하게 했을때 Table 5에서 B25와 D25의 칩 두께는 거의 같게 나타났으며 이송속도의 증가에 따라 일정하게 칩의 두께가 증가함을 알 수 있으며 이것을 도표로 나타

낸 Fig. 12에서와 같이 칩의 두께는 이송속도에 따라 거의 직선적으로 증가한다.

Table 5 Chip thickness for the cutting speed and feed at the constant depth of cut, 1.0mm(unit : mm)

velocity(m/min) \ feed rate (mm/rev) \ type of insert		88		132		189	
		B25	D25	B25	D25	B25	D25
0.1		0.30	0.33	0.33	0.32	0.26	0.24
0.2		0.52	0.55	0.50	0.52	0.46	0.51
0.3		0.84	1.00	0.73	0.80	0.74	0.77
0.4		0.97	1.12	1.12	1.04	0.96	1.01

또한, 절삭속도의 감소에 따라 칩의 두께는 증가하고, 칩의 두께가 증가하면 칩 표면에서의 변

형틀이 커져서 잘 절단된다.

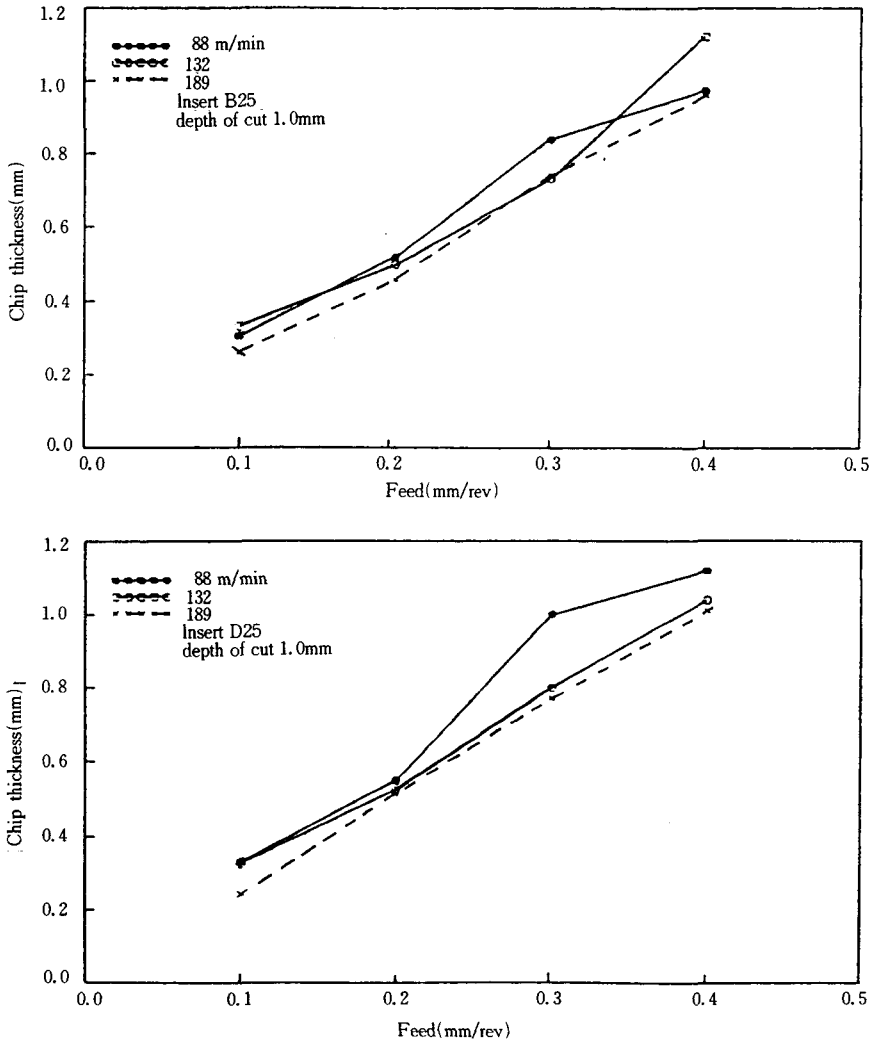


Fig. 12 Chip thickness for the cutting speed and feed at the constant depth of cut, 1.0mm

4.3 표면거칠기

Table 6과 Fig. 13은 절삭깊이를 1.0mm로 일정하게 하고 B25, D25의 공구를 사용하여 절삭속도(88, 132, 189m/min)와 이송속도(0.1-0.4mm/rev)로 변화시켜 선삭 가공할때 산술평균 표면거칠기(R_a)를 측정하였다.

전반적으로 B25보다는 D25인서트를 사용했을 때 표면거칠기가 더 좋은 것을 알 수 있다. 또한

Table 6 Surface roughness(R_a : μm) (depth of cut : 1.0mm)

velocity(m/min)		88		132		189	
		B25	D25	B25	D25	B25	D25
feed rate (mm/rev)	type of insert						
	0.1	1.25	1.4	1.1	1.01	1.0	1.0
	0.2	1.9	2.45	1.8	1.5	2.20	1.9
	0.3	3.5	3.45	3.4	2.75	3.75	3.2
0.4	5.55	4.25	5.0	3.8	5.5	4.55	

표면거칠기는 이송속도의 증가에 따라 거의 직선적으로 증가하여 거칠어짐을 알 수 있다.

절삭속도에 대한 표면거칠기의 변화는 B25,

D25 공히 132m/min일때가 가장 좋고, 절삭속도가 더 작거나 커져도 표면거칠기가 커져서 최적의 절삭속도가 존재함을 알 수 있다.

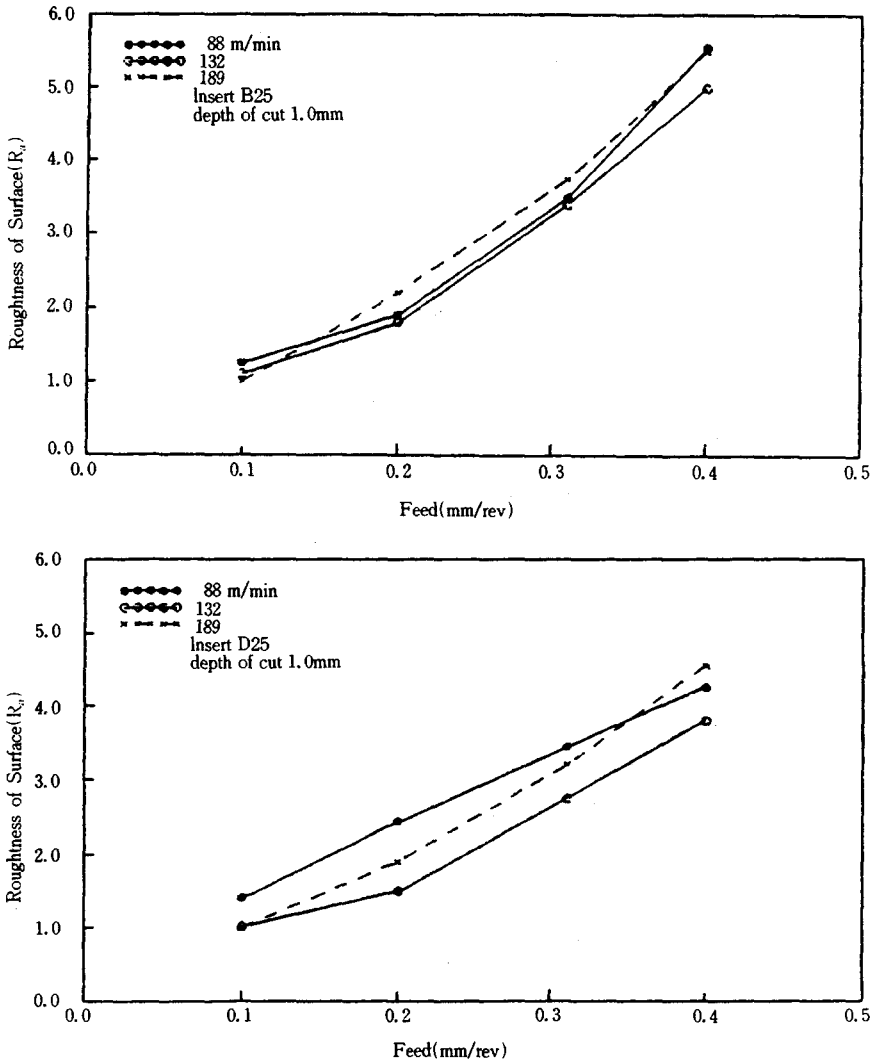


Fig. 13 Surface roughness vs feed rate and cutting speed

4.4 칩의 비산거리

칩의 비산거리는 선반 중심에서 주위에 떨어진 칩까지의 거리를 실측하였으며 Fig. 14는 절삭속도 189m/min, 절삭깊이 2.0mm, 이송속도 0.2, 0.

4mm/rev, 인서트 B25, D25에 대하여 비산거리와 비산된 칩의 수를 퍼센트로 나타낸 것으로, 90% 이상이 선반에서부터의 거리 1m 이내에 떨어진 다.

B25인서트, 절삭깊이 2.0mm, 비산거리 550mm 일 때, 이송속도 0.2mm/rev에서는 약 73%, 최대 비산거리 1700mm, 이송속도 0.4mm/rev에서는 약 64%, 최대비산거리 1850mm로 이송속도가 클 때 칩의 비산거리가 커짐을 알 수 있다.

D25인서트, 절삭깊이 2.0mm, 비산거리 550mm 일 때, 이송속도 0.2mm/rev에서는 약 75%, 최대 비산거리 1550mm, 이송속도 0.4mm/rev에서는 약 60%, 최대비산거리 1600mm로 B25에서와 같이 이송속도가 클 때 칩의 비산거리가 커진다.

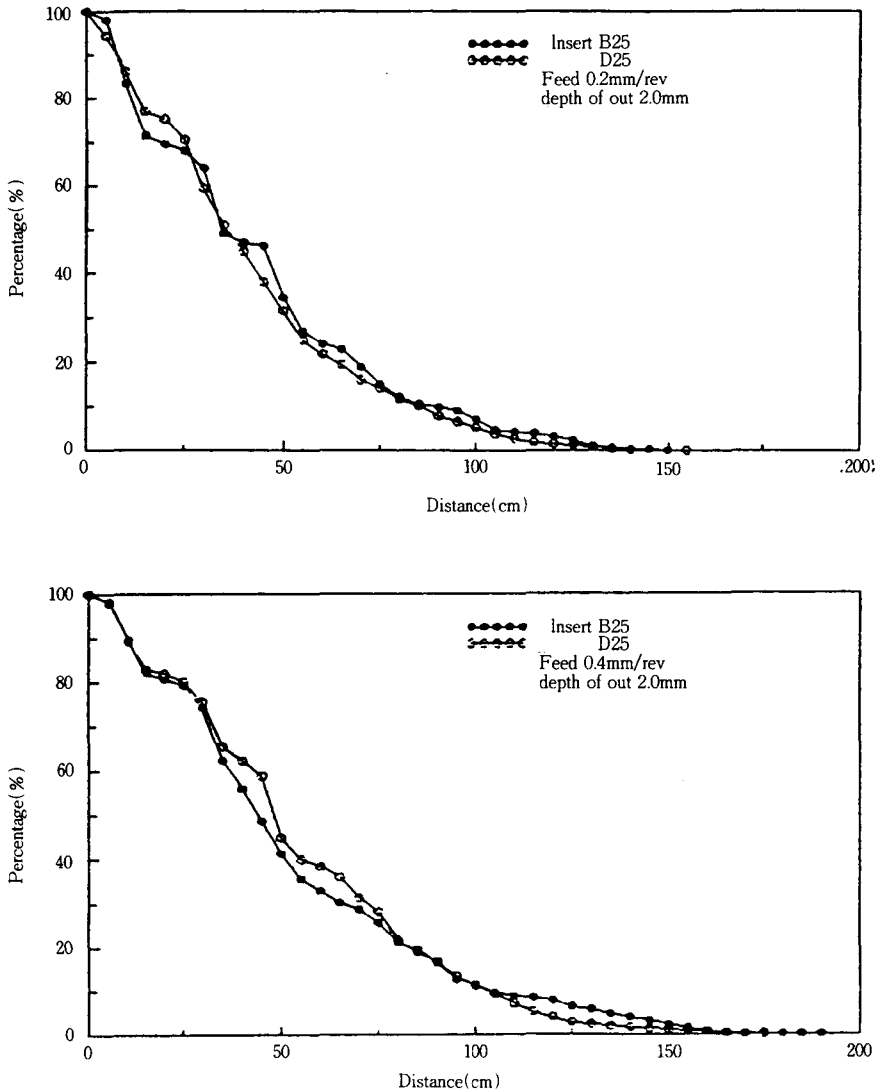


Fig. 14 Flying distance of chip

5. 결 론

국내에서 생산되는 홈형 칩브레이커와 돌기형

칩브레이커를 갖는 선삭가공용 초경합금 인서트를 사용하여 절삭속도(88, 132, 189m/min), 이송속도(0.1, 0.2, 0.3, 0.4, 0.5mm/rev), 절삭깊이(0.25,

0.5, 1.0, 1.5, 2.0mm)를 변화시켜 칩의 형상과 절단성능, 칩의 두께, 표면거칠기, 칩의 비산거리 등을 실험한 결과, 본 실험조건하에서 얻은 결론은 다음과 같다.

- 1) 홈형 칩브레이커는 칩브레이커의 곡률반경이 클수록, 또 랜드 폭이 작을수록 절단성능이 향상된다.
- 2) 홈형 칩브레이커의 절단성능은 절삭속도와 이송속도에 크게 영향을 받으나, 돌기형 칩브레이커는 그 영향이 적으며 홈형 칩브레이커보다 절단성능이 우수하다.
- 3) 칩의 두께는 이송속도의 증가 및 절삭속도의 감소에 따라 증가하고, 칩의 두께가 증가하면 칩 표면의 변형률이 커져서 잘 절단된다.
- 4) 표면거칠기값은 이송속도의 증가에 따라 커지며, 홈형 칩브레이커보다 돌기형 칩브레이커를 사용했을때가 표면거칠기 값은 더 작다.
- 5) 칩의 비산거리는 칩의 90%이상 선반에서부터 거리 1m 이내이며, 이송속도가 증가하면 비산거리도 커진다.

참 고 문 헌

- 1) Henriksen, E. K., "Balanced Design Will Fit the Chip Breaker to the job", *America Machinist*, Vol. 98, No. 4, pp. 118-124, 1954.
- 2) Henriksen, E. K., "Findings and Directions

in Chip Breaker Research", *Proc. 23rd Ann. Mtg. of ASTM*, Los Angeles, California, 1955.

- 3) 서남섭, 기계공작법, 동명사, 서울, pp. 288-291, 314, 1989.
- 4) Boothroyd, Geoffrey, "Fundamentals of metal machining and machine tools" Mcgraw-mill book company, New York, pp. 185-195, 1975.
- 5) ISO, 5th Draft Proposal, ISO/TC29/WG 22 (Secretariat 37) 91, 1972.
- 6) 손명환, 절삭가공론, 문운당, 서울, pp. 80-82, 1992.

기 호 설 명

- a_0 : chip thickness
- dn : chip-breaker-groove depth
- en : chip-breaker land width
- h : chip-breaker height
- lf : contact length between the chip and tool
- ln : chip-breaker distance
- qn : chip-breaker-groove radius
- R : bulk ratio
- r_{chip} : radius of the chip curvature
- α : chip-breaker wedge angle
- ρ_{rl} : chip-breaker angle