

STS304절삭시 Chip Breaker를 이용한 Chip제어에 관한 연구

염 동 운*, 유 기 현*, 정 진 용*, 서 남 섭**

A Study on the Chip Control in Machining STS304 Using a Chip Breaker

Dong-Woon Yeom*, Ki-Hyun Yu*, Chin-Yong Cheong*, Nam-Seob Seo**

ABSTRACT

One of the parameters that influence the productivity of every industry, involved in metal cutting, is the chip form; continuous or broken chip.

Chip form varies according to machining conditions, material used, tool geometry and chip breaker geometry.

Therefore, in this study we carried out the experiment on the chip control in machining STS304 using an attached obstruction type chip breaker. Namely, with the change of a chip breaker distance, chip breaker angle, cutting velocity and feed, which are cutting conditions, we investigated the chip control and cutting characteristics in machining STS304 which is well-known as a machining difficult material and produces a saw-toothed chip.

The results of the experiment are as follows:

1. The chip breaker distance and angle under which the preferred chip is produced, show 1.5mm and 60°, while chip breaker angle in machining an ordinary steel was well-known 45°.
2. During the cutting process, the change of feed than the change of velocity was applied as cutting conditions, effects more clearly on the chip breaking.
3. Considering a whole surface roughness, it is not advisable to apply chip breaker mentioned above for precision cutting.

key words : attached obstruction type chip breaker(부착장애형 칩브레이커), chip breaker angle(칩브레이커각), chip breaker distance(칩브레이커 거리), chip control(칩 제어), machining difficult material(난삭재), preferred chip(양호한 칩), saw-toothed chip(톱니형 칩).

* 전북대학교 기계공학과 대학원

** 전북대학교 기계공학과 교수

1. 서 론

최근들어 공작기계 자동화의 보편화로 절삭가공 작업은 고속화, 정밀화 되고 있어 생산성이 크게 높아지고 있다. 하지만 이러한 생산성의 증가는 단위시간당 칩생산량을 증가시켰으며, 이에 따라 효율적이면서 바람직한 칩처리가 생산성 향상과 연관 되어 매우 중요한 문제로 대두되었다.

칩의 형태는 절삭조건, 피삭재의 종류, 공구의 기하학적 모양에 따라 크게 변화한다. 일반적으로 분류하여 보면, 생산과정에 미치는 영향이 작고, 칩처리 문제를 크게 야기시키지 않는 파단형과, 정상적인 절삭가공 작업을 방해하고 가공면, 공구, 공작기계 및 작업자에게 손상을 주는 연속형으로 나타나게 되고, 이 경우 생산성에 영향을 미치는 칩처리 문제를 해결하기 위해서는 피삭재의 종류에 따라 절삭조건, 공구의 기하학적 모양, 공구재료 등을 적절히 택하거나 칩의 유동경로에 장애물을 설치하여 칩형태를 조절할 필요가 있다.

이처럼 칩처리 문제가 생산성에 크게 영향을 미치기 때문에 일찍부터 칩에 관한 활발한 논의가 진행되어 왔다.

W. Rosenhain은 칩을 발생기구에 따라 유동형, 전단형, 경작형, 균열형 등으로 분류하였고, Nakayama¹⁾는 기존의 칩의 길이에 따른 일반적인 방법을 만족 방향 및 반경, coil의 피치에 따라 세분한 형태로 분류하였다. 칩의 만족현상에 대해서는, 제2전단역에서 속도증가와 유동의 연속성에 의해 칩이 만족된다는 설²⁾의 2차원 절삭에서 칩내부의 인장 및 압축에 의하여 칩이 만족하게 된다는 내용³⁾ 등이 제시되었다. 또한 칩의 유출각이 칩의 만족 및 파단에 결정적 영향을 미친다고 발표⁴⁾되었고, 아울러 helical 칩의 운동 및 칩형태에 영향을 미치는 인자들에 관한 연구 결과가 W. Kluft 등⁵⁾에 의해 제시되었다. Y. Z. hangd은 칩의 곡률반경을 인위적으로 조절함에 의해 칩을 만족 및 파단시키는 연구를⁶⁾ 행하였고, 이 경우 장애형 및 홈형 칩브레이커에 관한 설계⁷⁻¹⁰⁾가 이루어져 생산성 향상면에서 일대 전환을 맞이하였다. 따라서 본 연구에서는 부착장애형 칩브레이커를 설치한 인서트(insert) 공구를 이용, 피삭재로서 내식성, 내마모성등의 기계적 성질이 우수하여 근래 산업의 여러분야에서 각광받고 있는 난삭재 STS304를 절삭하였다. 난삭재 STS304는 연질금속으로서, 자유표면이 다소 매끄러운 일반재료와 달리 칩의 단면이 어느

정도 규칙적인 톱니형 칩이 발생한다.¹¹⁾ 그러므로 부착장애형 칩브레이커의 각 및 거리, 여러 절삭조건으로 STS304를 절삭한 후 이때 나타나는 절삭특성 및 칩조절 상태를 관찰하고, STS304와 기존의 실험에서 자주 이용되었던 연강과의 비교시험 절삭을 행하여 칩형태동을 비교하여 보고자 한다.

2. Chip 절단기구

절삭작업시 발생하는 연속형 칩의 형태는 가공면과 공구 및 공작기계에 손상을 주기 때문에 칩브레이커와 같은 인위적 기구를 이용하여 바람직한 칩형태로 조절할 필요가 있다.

칩의 절단은 변형시 칩표면에 작용하는 변형율이 칩재료의 한계변형율(ϵ_f)에 도달할 경우에 나타나며, 이를 식으로 표현하면 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\epsilon_f^* = \frac{2Rc}{t_c} \epsilon_f$$

(t_c : 변형된 칩두께, Rc: 칩의 곡률반경)

즉 위의 식에서 칩의 절단은 t_c 및 R_c 에 영향을 미치는 인자들에 의해 결정된다는 것을 알 수 있다.

따라서 본 연구에서는 부착장애형 칩브레이커를 이용, 이 경우 칩브레이커의 각 및 거리, 이송과 속도변화를 통해 t_c 및 R_c 를 변화시키면서 칩절단을 행하였다.

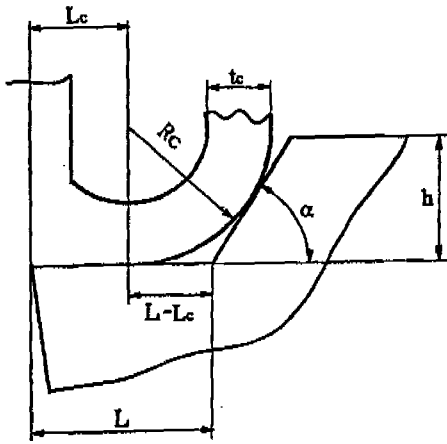
이 경우 Fig. 1과 같은 부착장애형 칩브레이커를 설치하여 준 2차원선삭시 칩의 곡률반경을 구하여 보면 다음과 같다.

$$R_c = [L - L_c] \cdot \tan \frac{\pi - \alpha}{2} = [L - L_c] \cdot \cot \frac{\alpha}{2}$$

위의 식에서 칩의 곡률반경 R_c 는 칩브레이커의 거리 및 각에 의해 정해진다고 할 수 있다.^{1,2)}

3. 실험

본 실험에서는 P20등급의 초경공구를 사용하여 준2차원 선삭을 행하였다. 공구의 기하학적 모양은 톱니형 칩발생에 의한 진동이나 기타 공작기계의 진동이 칩에 미치는 영향을 고려하여 주절인각(0°), 상면경사각(0°)



- L** ; chip breaker distance
- Lc** ; contact distance of chip-tool
- h** ; chip breaker height
- α** ; chip breaker angle

Fig. 1 Attached obstruction type chip breaker

Table 1 Chemical compositions of STS304 and SS41(%)

	C	Ni	Cr	Si	Mn	P	S
STS304	0.08	8.0-10.5	18.0-20	1.0	2.0	0.04	0.03
SS41	0.18			0.252	0.84	0.018	0.012

및 공구선단반경(0.4mm)이 작은 것을 택하였고, 여유각과 측면경사각은 각각 11° 및 6°로 하였다.

피삭재로서는 난삭재로서 톱니형 칩을 생성하고 내식성, 내마모성이 우수한 STS304(φ80×500mm)와 비교 시험 절삭용 재료로서 일반기계 부품용 재료로 많이 쓰이고, 연속형 칩을 생성하는 연강(SS41:φ80×500mm)을 이용하였다. 각 재료의 구성성분은 Table. 1과 같다.

칩브레이커는 칩에 의한 강력한 압력과 마찰작용을 크게 받기 때문에 내마멸성이 높은 초경재료를 이용하여 칩에 의한 손상을 방지하였고, 피삭재가 연성이어서 칩절단이 용이하지 않다는 점을 고려하여 홈형대신 부착장애형을 이용하였다. Fig. 2는 공구홀더에 초경공구와 칩브레이커를 설치한 상태를 보여주고 있다. 여기서 칩브레이커의 거리(L)는 칩브레이커를 설치할때 3가지의 소정치수로 조절 가능 하도록 하였고, 칩브레이커의 각(α) 또한 3가지 형상으로 가공하였다. Table. 2는 설정된 조건 L과 α를 표시한 칩브레이커의 기하학적 모양이다.

Table 2 Geometry of chip breaker

chip breaker	conditions		
distance(L : mm)	1.0	1.5	2.0
angle(α : °)	45	65	75

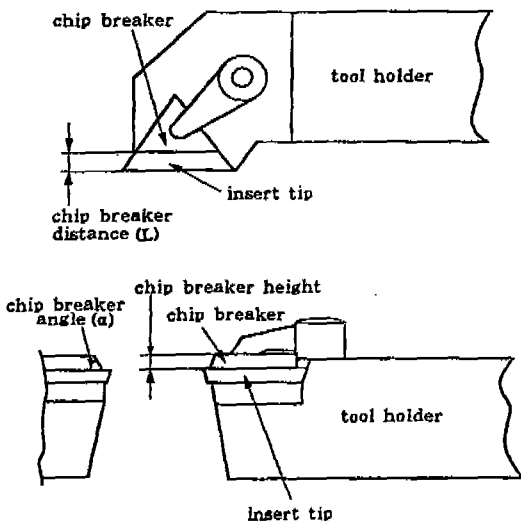


Fig. 2 Chip breaker setup

본 실험에서는 고속정밀선반, 칩브레이커를 성형하기 위해 사용된 공구연삭기(tool grinder), 공구의 기하학적 모양을 변화시키고 칩브레이커를 고정하는 공구홀더, 공구동력계(tool dynamometer), 증폭기(charge amplifier), A/D converter, 공구현미경, 실물 투영기(profile projector), 표면조도측정기, 다이알 게이지(dial gauge) 등을 이용하였다.

실험과정은 먼저 피삭재를 선반에 고정시키고, 공구대 위에 공구동력계를 설치한 후 그 위에 공구와 칩브레이커를 고정한 공구홀더를 설치하였다. 그리고 절삭시 가공물 표면의 가공경화 현상이 다음 절삭에 미치는 영향을 고려하여 0.01-0.02(mm)의 전절삭을 행한 후 고려하여 5%오차범위를 유지하였다. 절삭상태가 안정되었을 경우 데이터를 받아 들여 절삭특성을 측정하였고, 이때 발생한 칩을 Fig. 3와 같이 칩형태에 따라 분류하였다.

양호한 칩을 발생시키는 영역을 구하기 위해, 설정된

type	form	example	remarks
1	continuous (constant/irregular)		bad
2	broken, 2 to 10 turns		preferred acceptable
3	regularly intermittent (each piece more than 1 turn)		
4	full turns		
5	fragments		

Fig. 3 Classification of chip form by K. Nakayama

Table 3 Cutting conditions

cutting speed [m/min]	50, 100, 150, 200
feed [mm/rev]	0.05, 0.1, 0.15, 0.2, 0.25
depth of engagement [mm]	0.8

칩브레이커의 조건 L 과 α 및 속도, 이송등을 변화시켜 가면서 칩형태 및 절삭특성을 관찰하였고, 기존의 연구와 비교하기 위하여 연강¹²⁾, SS41과의 비교시험 절삭을 행하였다.

Table. 3은 본 실험에서 행한 실험조건을 나타낸 것이다.

4. 실험결과 및 분석

난삭성을 보이는 피삭재 STS304를 측면경사각 6° , 주절인각 0° , 상면경사각 0° , 절삭속도 50, 100, 150, 200(m/min), 이송 0.05, 0.1, 0.15, 0.2, 0.25(mm/rev)등으로 변화시켜 가면서 칩브레이커를 사용하지 않고 물림깊이 0.8mm로 준2차원 전식절삭할 경우, 발생하는 칩의 형태는 Fig. 4와 같다.

Fig. 4에서 일반강들에 비해 연성이 크고, 열전도율이 낮아 연속형 칩을 발생할 빈도가 높은 STS304는 이송이 큰 경우를 제외하고는 대부분 칩처리가 불량한 연속형으로 나타난다. 따라서 생산성 향상의 측면에서 칩

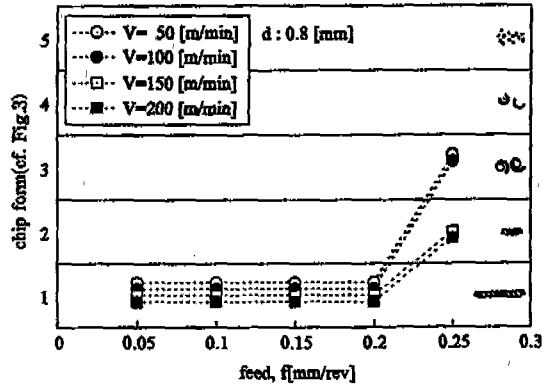


Fig. 4 The relation between feed and chip form (without chip breaker)

처리를 용이하게 하기 위해서는 이송을 조정할 필요성이 있다. 하지만 이송의 증가는 다른 한편으로 절삭저항, 공구마모, 표면거칠기등과 같은 절삭성의 관점에서 많은 문제점을 내재하고 있다. 따라서 칩형태 및 절삭성을 고려하여 절삭작업을 수행하려면 칩브레이커와 같은 인위적 기구를 설치하여 칩형태를 조절할 필요가 있다.

Fig. 5와 Fig. 6은 칩브레이커의 기하학적 모양 및 속도, 이송 등의 변화에 따라 발생된 칩의 유형이 어떻게 변화하는지를 보여주고 있다. 여기서 연구의 주목적이 칩브레이커의 기하학적 모양을 구하는 것이므로 발생된 칩을 기하학적 모양에 따라 정리하였다. Fig. 6에서 칩브레이커의 각을 60° 로 일정하게 하고, 칩브레이커의 거리를 1.0, 1.5, 2.0(mm)로 변화시켜가며 물림

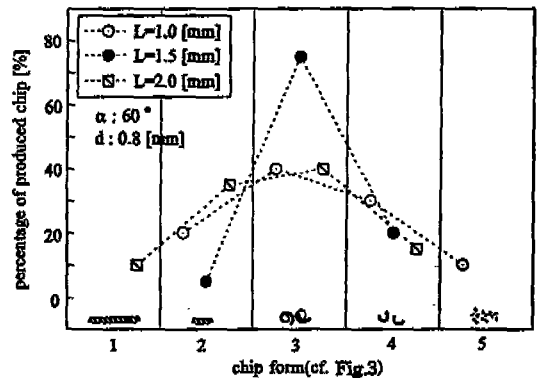


Fig. 5 The relation between chip form and percentage of produced chip

깊이 0.8mm로 절삭하여 볼때, 칩의 형태는 거리가 길어짐에 따라 파단형에서 연속형으로 진전을 보이고 있다.

즉 거리가 1.0mm인 경우에는 3번형이 많이 발생하고, 2번형, 4번형과 비산형인 5번의 칩이 발생하였다. 비산형 칩은 칩브레이커의 거리가 짧아짐에 따라 유출된 칩이 원활하게 유출되지 못하고 칩브레이커의 경사면에 부딪친 충격과, 칩의 곡률반경 감소가 칩을 잘게 부서지게 한 것으로 추측된다. 거리가 1.5mm인 영역에서는 3번형 칩의 발생비율이 크게 나타났고, 2.0mm인 영역에서는 2번형과 3번형이 증가한 가운데 연속형 칩이 발생되었다.

Fig. 6은 칩브레이커의 거리를 1.5mm로 일정하게 하였을 경우, 칩브레이커각의 증가에 따른 칩형태 변화를 보인 것이다.

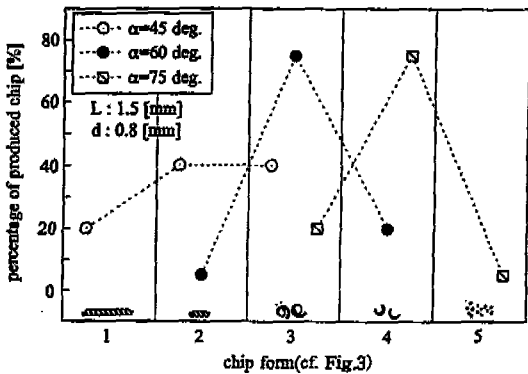


Fig. 6 The relation between chip form and percentage of produced chip

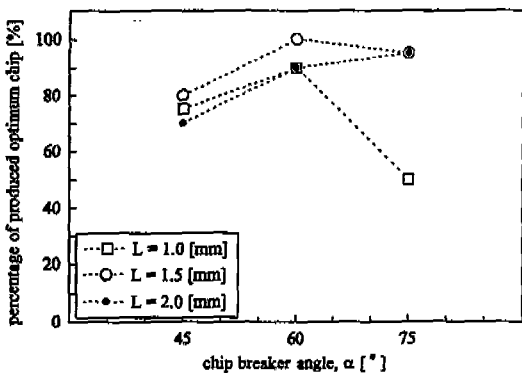


Fig. 7 The relation between chip breaker angle and percentage of produced chip

그림상에서 볼 때 각이 45°인 경우에는 2번형, 3번형의 칩이 각각 40%, 연속형인 1번의 칩이 20% 발생하였다. 60°인 경우에는 45°인 경우에 비해, 연속형 칩은 사라지고, 3번형의 칩이 크게 증가하였으며 아울러 4번형의 칩도 나타났다.

75°인 경우에는 4번형의 칩이 크게 증가하였으며 비산형 칩도 발생하였다. 비산형 칩이 발생한 이유는, Fig. 5에서 칩브레이커의 거리가 1.0mm인 경우와 유사하다고 볼 수 있다.

Fig. 7은 칩브레이커 각과 거리의 각 조건들을 조합하여 칩발생 전체 빈도에 대한 각 조건에서의 양호한 칩 발생 비율을 도시한 것이다.

그림에서 양호한 칩 발생 비율은 칩브레이커거리 1.5mm와 칩브레이커각 60°일때 다른 조건에 비해 크게 나타났다. 거리 1.0mm, 각 75°인 영역에서의 낮은 수치는 비산형 칩발생에 의한 결과로서, 비산된 칩은 튀어나갈 경우 공작기계 및 가공면에 좋지않은 영향을 미친다.

따라서 부착장애형 칩브레이커의 선정된 조건을 이용하여 절삭가공한 이상의 결과로부터, STS304절삭시에는 기존의 연구결과에 의해 알고있던 일반강 절삭시의 칩브레이커의 기하학적 모양, 거리 1.5mm, 각 45°와 달리 거리 1.5mm, 각 60°인 경우에서 양호한 칩이 가장 많이 발생하였다. 이러한 결과는 연성이 크고 열전도율이 낮아 튼튼한 칩을 생성하는 STS304의 재질적 특성에 기인한 것으로 추측된다.

Fig. 8은 STS304절삭시 양호한 칩을 가장 많이 발생한 칩브레이커의 기하학적 모양을 이용하여 STS304와 자유표면이 비교적 매끄러운 칩을 발생하고, 일반

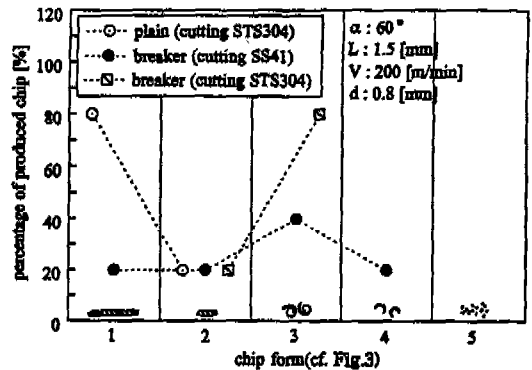


Fig. 8 The relation between chip form and percentage of produced chip

기계부품용으로 자주 이용되는 연강(SS41)과의 비교시험 절삭을 행하여 본 것이다.

그림상에서 볼 때, STS304절삭시에는 100%, 연강(SS41)절삭시에는 80%의 파단형 칩이 발생하였다. 이 같은 결과는 STS304와 연강 절삭시의 칩브레이커의 기하학적 모양이 서로 상이하다는 것을 보여준다.

Fig. 9와 Fig. 10은 칩브레이커각($\alpha = 60^\circ$)과 물림깊이($d = 0.8\text{mm}$)를 일정하게 하고, 이송 및 절삭속도를 변화시키면서 절삭할때, 칩발생 전체빈도에 대한 각각의 칩형태 발생 비율을 도식한 것이다. Fig. 9에서 이송을 0.05, 0.15, 0.25(mm/rev)로 형태는 서로간에 확연한 특징을 나타내고 있다.

즉 0.05(mm/rev)에서는 연속형인 1번형 칩의 비율이 25%, 2번형 및 3번형이 각각 40%와 35%로 나타났고, 0.15(mm/rev)에서는 연속형 칩은 발생하지 않았지만, 3번형 칩의 비율이 두드러지게 증가하였다. 하지만 이송이 0.25(mm/rev)로 큰 경우에는 4번형 칩의 비율이 크게 나타났으며 5번형과 같은 비산되는 칩들도 일부 발생하였다. 이같은 경향은, 이송을 크게하면 칩두께가 증가하고, 결과적으로 칩표면의 strain이 크게되어 칩분절을 용이하게 한다고 여겨진다.

Fig. 10에서 절삭속도를 50, 150, 200(m/min)으로 증가시켜 볼때, 칩의 형태는 절삭속도의 증가에 따라 파단형에서 연속형으로 변화를 보이고 있다.

즉 50(m/min)인 구간에서는 3,4번형 칩의 발생 비율이 크고 비산형인 5번형의 칩도 약간 발생하였지만, 150 및 200(m/min)인 구간에서는 2번형 및 3번형이

크게 발생하고 연속형인 1번의 칩이 나타났다. 이같은 결과는 마찰계수 변화 및 절삭속도의 증가가 절삭비 및 전단각을 크게하여, 칩두께가 얇아 파단되기 어려운 연속형으로 진전하게 한것으로 여겨진다.

결과적으로 Fig. 9와 Fig. 10은 절삭속도와 이송의 변화가 칩형태변화에 영향을 미친다는 사실을 보여주고 있고, 그림의 결과로 부터 칩의 형태변화에 미치는 영향은 이송이 절삭속도 보다 크다는 것을 알 수 있다.

Fig. 11과 Fig. 12는 칩브레이커 거리 및 각의 변화에 따른 평균 절삭저항 변동특성을 보여주고 있다. Fig. 11에서 각을 60° 로 일정하게 하고 거리를 달리하여 볼때, 절삭저항의 경향은 거리가 2.0mm인 경우가 칩브레이커 설치전 보다 크게 나타났고, 거리가 1.0, 1.5(mm)인 경우에는 칩브레이커 설치전에 비해 작게 나타났다.

즉 이러한 경향은 칩브레이커 설치전과 비교하여 보았을때, 거리가 1.0 및 1.5(mm)인 경우는 칩브레이커 설치전에 비해 공구경사면상에서의 접촉 면적 감소로 마찰저항이 크게 나타나지 않은 것으로 추측된다. 반면에 거리가 2.0mm인 경우에는 칩브레이커 설치전에 비해 칩브레이커 경사면과의 마찰에 의한 마찰저항 증대가 큰 영향을 미친 것으로 추측된다. Fig. 12는 칩브레이커의 거리를 일정하게 하고 각을 변화시켜가며 200(m/min)으로 절삭하여 볼때, 평균절삭저항 변동특성을 나타낸 것이다. 그림상에서 볼때 절삭저항 변동은 75° 인 경우가 칩브레이커 설치전에 비해 크게 나타났고, 45° 및 60° 인 경우는 설치전에 비해 작게 나타났

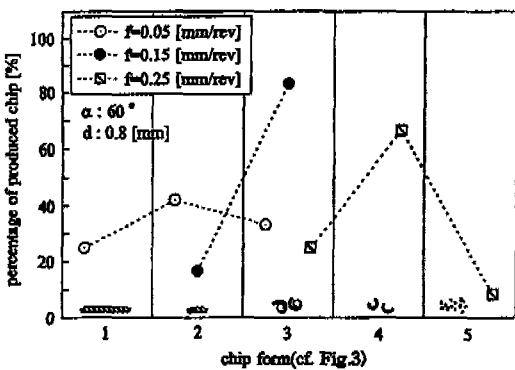


Fig. 9 The relation between chip form and percentage of produced chip

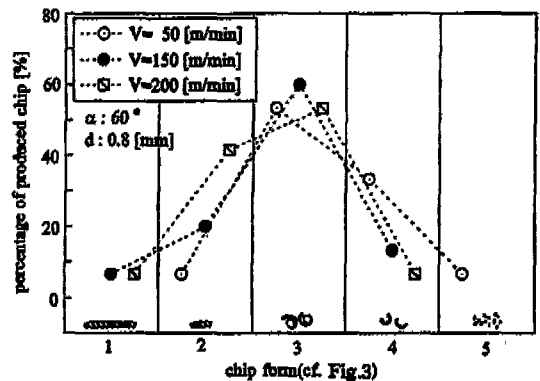


Fig. 10 The relation between chip form and percentage of produced chip

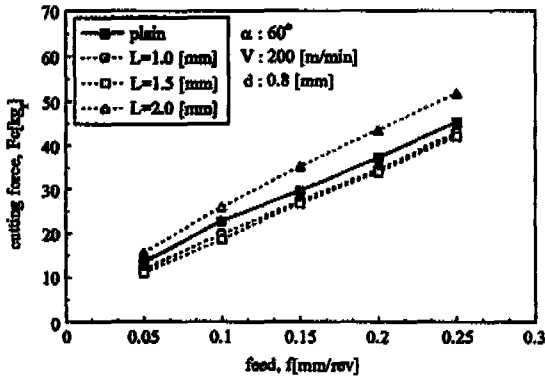


Fig. 11 The relation between feed and cutting force (Fc)

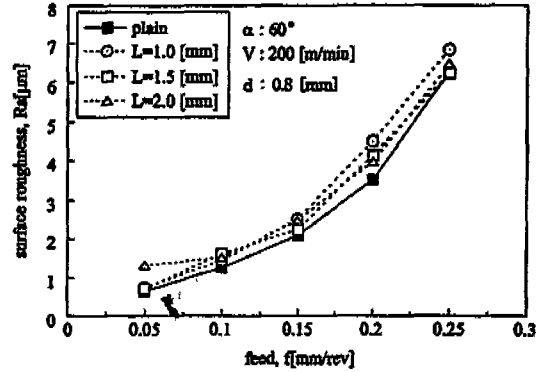


Fig. 13 The relation between feed and surface roughness (Ra)

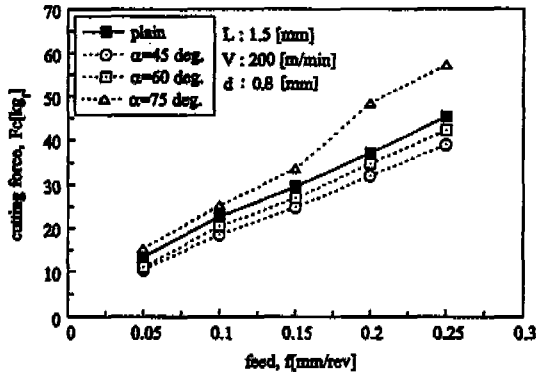


Fig. 12 The relation between feed and cutting force (Fc)

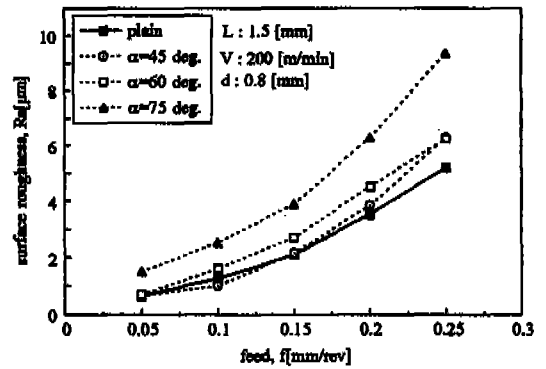


Fig. 14 The relation between feed and surface roughness (Ra)

다. 이러한 결과는 45° 및 60°인 경우, 칩브레이커 설치로 인해 공구경사면상의 crater마모 발생역에서의 칩과 공구경사면과의 마찰저항 감소가 주 요인으로 판단된다. 반면에 75°인 경우는 유출되는 칩과 칩브레이커 접촉면과의 마찰저항 증가가 원인인 듯하다. 따라서 위의 결과로부터 칩브레이커를 설치하여 절삭할 경우 칩브레이커의 기하학적 모양을 적절히 선정하면 절삭저항 감소에 크게 기여할 것으로 판단된다.

Fig. 13과 Fig. 14는 칩브레이커의 거리 및 각의 변화에 따른 표면거칠기를 표시한 것이다.

그림상에서 칩브레이커 설치전과 비교하여 볼때, 거리가 짧아지고, 각이 커짐에 따라 평균거칠기 값이 대체적으로 증가함을 보여주고 있다. 이러한 경향은 칩브레이커 설치시, 마찰저항의 증대에 의해 압축응력 성분

을 가지는 소성역이 절삭에 의해 생성되는 면보다 칩브레이커 설치전에 비해 아래쪽에 존재함으로써 나타나는 결과로 추측된다.

결과적으로 볼때, 부착장애형 칩브레이커의 설치는 칩처리 및 공구수명을 고려하는 황삭의 경우에는 적합하지만, 가공면의 표면거칠기 및 치수정도를 고려해야 할 정밀절삭의 경우에는 바람직하지 않다고 사료된다.

5. 결 론

P20등급의 초경공구에 부착장애형 칩브레이커를 설치하여 STS304를 절삭한 후, 다음의 결과를 얻을 수 있었다.

1. 생성된 칩을 처리가 용이한 파단형 칩으로 만드는

칩브레이커의 기하학적 모양은, 기존의 연구에서 알려진 일반 연강 절삭시의 각 45°, 거리 1.5mm와 달리 각 60°, 거리 1.5mm로 나타났다.

2. 이송 및 절삭속도를 변화시켜 절삭하여 본 결과, 칩의 분절에 미치는 영향은 이송이 절삭속도 보다 크게 나타났다.

3. 설정된 영역내에서 칩브레이커를 이용하여 절삭할 경우, 모든 기하학적 모양에서 대체적인 표면 거칠기 악화를 고려해 볼때, 표면정밀도를 요하는 절삭의 경우에는 적용이 곤란하다고 여겨진다.

References

1. K. NAKAYAMA, "Chip Control in Metal Cutting", Bull. JSPE., Vol.18, No.2, pp.97-103, 1984
2. MILTON C. SHAW, METAL CUTTING PRINCIPLES, CLARENDON PRESS. OXFORD, pp.544-555, 1984
3. G.W. Form, "Fundamental Consideration in Mechanical Chip Formation", C.I.R.P., Vol.18, pp.153-167, 1970
4. K.Nakayama, "Basic Tules on the Form of Chip in Metal Cutting", C.I.R.P., Vol.27/1, pp.17-21, 1978
5. W.Kluft, C.A.vanLuttervelt, K. Nakayama, A.J.Pekelharion, "Present Knowledge of Chip Control", C.I.R.P., Vol.28/2, pp.441-455, 1979
6. Y.Z.Zhang, "Chip Curl, Chip Breakage and Chip Control of Difficult-to-Cut Materials", C.I.R.P., Vol.29, pp.79-83, 1980
7. 徐南燮; 金屬切削理論, 東明社, P.287-296, 1990
8. Haldon, J.Swineahart, Design of Cutting Tools, American Society of Tool and Manufacturing Engineers, pp.92, 1969
9. C.SPAANS, P.F.H.J.VAN GEEL, "Break Mechanisms in Cutting with a Chip Breaker", C.I.R.P., Vol.18, pp.87-92, 1970
10. S.Kaldorm A.Ber, E.Lenz, "On the Mechanism of Chip Breaking", ASME, Vol.101, pp.241-249, 1979
11. 狩野勝吉, 難削材의 切削加工 技術, 技術情報(株), pp.156-173, 1989
12. 孫明煥, 李浩哲, "신형 칩절단구에 관한 실험적 연구(제1보)", 대한기계학회논문집, 제16권, 제6호, pp.1121-1140, 1992