

S, PbS 및 BiS 쾌삭강의 칩절단 특성

이영문[#], 배대원*, 장준호*

Chip Breaking Characteristics of S, PbS, and BiS Free Machining Steels

Young-Moon Lee[#], Dae-Won Bae*, Jun-Ho Jang*

ABSTRACT

In this study, the chip breaking characteristics of S, PbS and BiS free machining steels have been assessed. PbS free machining steel shows the lowest value of chip thickness (t_c) under the same cutting conditions. SM10C steel has the largest value of the chip cross-section area ratio (R_{CA}). As the feed rate becomes larger the chip breaking cycle time (T_B) decreases and the chip breaking index (C_B) increases. The properly controlled-C type chip has been obtained with the value of C_B between 0.05 and 0.2. Free machining steel, PbS produces the properly controlled-C type chip in a wider feed rate range than other steels.

Key Words : Free Machining Steel (쾌삭강), Chip Breaking Cycle Time (칩절단주기), Chip Breaking Index (칩절단주기), Chip Cross-Section Area Ratio (칩단면적비)

1. 서 론

최근 절삭공정의 무인화 추세로 인하여 절삭시 생성되는 칩의 효율적 처리는 매우 중요한 문제로 대두되고 있다. 선삭가공 등 연속절삭 가공방식에서 연속적으로 길게 생성되는 칩은 가공표면과 접촉하여 표면 품질을 저하시키며 때때로 회전하고 있는 공작물, 절삭작용을 수행하고 있는 공구, 공작기계 본체 등에 엉켜 이들을 손상시킬 뿐만 아니라 절삭작업을 중단하고 엉킨 칩을 제거해야 하므로 절삭작업에 막대한 지장을 초래한다.

따라서 절삭작업의 안정성과 원활한 진행을 위해서는 연속적으로 길게 생성되는 칩을 적당한 길이로 절단시켜 줌으로서 상기의 문제점을 해결함과 동시에 칩의 제거를 용이하게 해 주어야 한다^[1,2].

최근 광범위한 조건하에서 이루어진 절삭 실험결과에 대한 분석을 통하여 외경선삭시 효과적인 칩절단 범위와 칩의 과잉제어 여부에 대한 한계 설정의 객관적인 평가기준을 나타낼 수 있는 파라미터로 칩절단지수 (C_B)가 제시된 바 있다^[3,4]. 본 논문에서는 홈형 칩포머를 갖는 공구에 의한 외경절삭 절삭실험을 통하여 S, PbS 및 BiS 쾌삭강의 절삭조건에 따른 칩생성 특성을 조사하였고, 각 쾌삭강의 칩절단 특성을 분석하였다.

교신저자 : 경북대학교 기계공학부
E-mail : ymlee@knu.ac.kr

* 경북대학교 대학원 기계공학과

2. 칩절단특성 평가에 대한 기초이론

2.1 Nakayama의 칩절단 한계조건

Nakayama^[5]는 굴곡으로 인한 칩표면의 변형률이 칩재료의 파단변형률 (ϵ_f) 이상이 되면 칩의 절단이 이루어진다는 전제하에 칩의 파단변형률, 칩두께 및 칩 굴곡반경으로 구성된 칩절단 한계조건을 제시하였다. [식(1)]

$$\epsilon_f \leq \frac{t_c}{2} \left(\frac{1}{R_o} - \frac{1}{R_B} \right) \quad (1)$$

여기서, ϵ_f : 칩재료의 파단변형률

t_c : 칩두께

R_o : 절단이 이루어지기 전의 칩의 굴곡 반경

R_B : 절단이 이루어진 후의 칩의 굴곡 반경

이다.

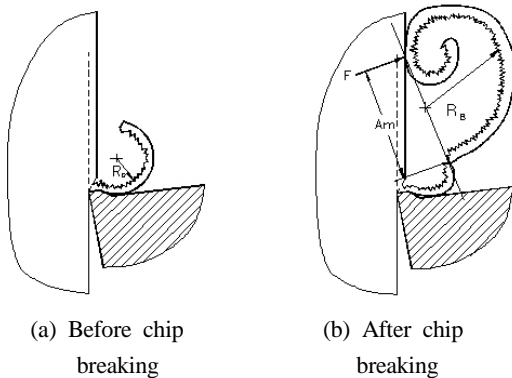


Fig. 1 Chip curl radius

Fig. 1은 2차원 절삭시 칩포머에 의해 굴곡된 칩의 절단이 이루어지기 전의 칩굴곡반경, R_o 와 칩의 절단이 이루어진 후의 칩굴곡반경, R_B 를 나타낸 것이다.

Fig. 1 (a)에서 보는 바와 같이 절단전의 칩의 형상은 공구를 떠난 후 아무런 방해도 받지 않으므로 진원에 가깝게 생성되며, 이 때의 칩굴곡반경, R_o 는 고속카메라 촬영등에 의해 측정가능하나 실용적이지 못하다.^[6]

칩의 선단이 공작물표면에 닿게 되면 Fig. 1 (b)에

나타낸 바와 같이 피삭재에 의해 칩에 작용하는 반력 F에 의한 굽힘 모멘트가 발생하고, 모멘트 값이 칩의 절단에 필요한 크기에 다다를 때까지 칩은 계속 생성되며 이러한 과정에서 칩의 형상은 변하게 된다. 따라서 절단 후의 칩의 형상은 진원에서 벗어나며 칩 굴곡반경, R_B 를 결정하기가 어려우며, 아직까지 절단된 칩의 굴곡반경에 대한 통일된 기준이 마련되어 있지 않다.

2.2 칩절단 형상인자

칩은 절삭조건에 따라 매우 다양한 크기와 형상으로 생성된다. 일반적으로 절단칩의 크기와 형상은 Fig. 2에 나타낸 바와 같이 칩두께 (t_c), 칩폭 (b_c) 및 칩길이 (l_c)로 나타낼 수 있다.

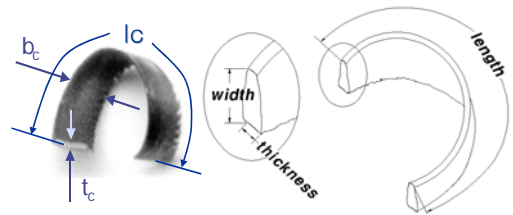


Fig. 2 Shape factor of broken chip

3차원 절삭시 생성된 칩의 형상에 대한 검토결과, 칩의 절단정도를 나타낼 수 있는 인자 중 비교적 정확하게 측정할 수 있는 것은 칩의 두께, 폭 및 무게이다. 본 논문에서는 칩의 길이 (l_c)를 간접적으로 구하는 방법을 채택하였으며, 각 절삭 조건에서 얻어진 절단칩의 두께, 폭 및 무게를 측정하였다. 절단칩의 길이, l_c (mm)는 측정된 칩의 두께, 폭 및 무게로부터 식 (2)에 의해 구할 수 있다.

$$l_c = \frac{w_c}{\rho t_c b_c} \quad (2)$$

여기서, ρ : 칩의 밀도 (g/mm^3)

t_c : 칩두께 (mm)

b_c : 칩폭 (mm)

w_c : 절단칩의 무게 (g)

이다.

2.3 칩단면적비 (R_{CA})

칩단면적비 (chip cross-section area, R_{CA})는 칩생성시 피삭재의 변형정도를 나타내기 위하여 Fig. 3에서 보는 바와 같이 생성된 칩의 단면적 ($b_c \times t_c$)을 생성되기 전의 단면적, 즉 절삭의 크기 (size of cut, $f \times d$)로 나눈 값으로 식 (3)과 같이 정의하였다.

$$R_{CA} = \frac{t_c b_c}{f d} \quad (3)$$

여기서, f : 이송 (mm/rev)

d : DOC (depth of cut)

이다.

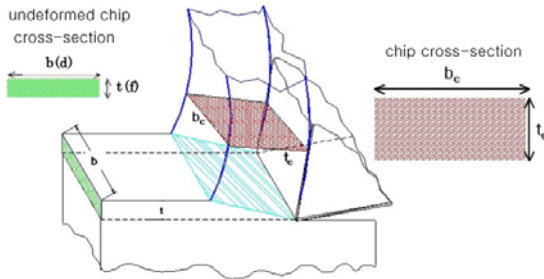


Fig. 3 Chip cross-section area

2.4 칩절단 주기 (T_B)

절삭 조건에 따른 칩의 절단특성을 나타내기 위해 칩절단주기 (chip breaking cycle time, T_B)를 식 (4)와 같이 정의하였다.

$$T_B = \frac{w_c}{f v b \rho} \quad (4)$$

여기서, T_B : 칩절단주기 (ms)

f : 이송 (mm/rev)

b : 절삭폭 (mm)

w_c : 절단칩의 무게 (g)

v : 절삭속도 (mm/s)

ρ : 칩의 밀도 (g/mm^3)

이다.

2.5 칩절단 지수 (C_B)

칩의 절단이 이루어지는 순간 [Fig. 1(b)] 피삭재가 칩에 작용하는 반력을 F , 절단지점까지의 수직거리를 A_m 이라 하면 칩절단 굽힘모멘트 $M = A_m F$ 이다. 모멘트 암 A_m 이 절단칩의 길이 l_c 에 비례하고 ($A_m = k l_c$), 두께 t_c , 폭 b_c 인 칩에 작용하는 반력 F 가 칩의 단면적에 비례한다고 가정하면 칩절단 굽힘모멘트 M 은 식 (5)와 같이 나타낼 수 있다.

$$M = A_m F = k l_c b_c t_c F_u \quad (5)$$

여기서, A_m : 모멘트 암(mm)

F : 피삭재가 칩에 작용하는 반력(N)

F_u : 칩단면 단위면적당 작용하는 반력(N/mm^2)

k : 비례상수 ($0 < k < 1$)

이다.

한편, 칩의 파단응력을 σ_f 라 하면, 칩절단 굽힘모멘트 M 은 식 (6)과 같이 나타낼 수 있다.

$$M = \frac{\sigma_f b_c t_c^2}{6} \quad (6)$$

식 (5) 및 (6)에서 측정 가능한 값과 측정하기 곤란한 값을 분리하여 정리하면 식 (7)과 같이 나타낼 수 있으며, 여기서 C_B 는 칩절단지수 (chip breaking index)로 정의된 파라미터이다^[4].

$$C_B = \frac{6 k F_u}{\sigma_f} = \frac{t_c}{l_c} \quad (7)$$

식 (7)에서 보는 바와 같이 칩절단지수 C_B 는 기존의 칩절단 한계조건을 결정하는 인자중 결정하기 애매한 칩굴곡반경과 절삭깊이에 따라 달라지는 칩의 폭이 배제되었으며, 측정 용이한 절단칩 두께 t_c 와 길이 l_c 에 의해 결정되는 무차원 파라미터이다.

3. 절삭실험

3.1 피삭재 및 절삭공구

피삭재는 S, PbS 및 BiS 쾌삭강과 기계구조용강인 SM10C를 사용하였다. Table 1에는 피삭재의 화학적 조성을 나타내었다.

절삭공구로서는 홈형 칩포머(groove type chip former)가 성형되어 있는 CNMG120408 인서트를 사용하였으며, 공구홀더로는 PCLNR2525M12를 사용하였다.

Table 1 Chemical composition(wt%) of the workpieces

	C	Si	Mn	P	S	Pb	Bi	Fe
S	0.10	0.01	1.18	0.1	0.29			bal.
PbS	0.09	0.01	1.03	0.07	0.32	0.26		bal.
BiS	0.1	0.01	1.18	0.1	0.29		0.08	bal.
SM10C	0.10	0.22	0.70		0.001			bal.

3.2 절삭조건

절삭실험은 쾌삭강 및 기계구조용강의 외경선삭을 통하여 이루어졌으며 절삭실험 조건은 Table 2에 나타낸 바와 같다.

절삭조건은 식(1)에서 보는 바와 같이 칩절단한계 조건에 가장 큰 영향을 미치는 칩두께를 변화시키기 위해 광범위한 이송속도 범위를 선정하였다.

Table 2 Cutting conditions and lathe specifications

Cutting Conditions	Cutting speed (m/min)	100
	Depth of cut (mm)	2
	Feed rate (mm/rev)	0.067, 0.148, 0.234, 0.296, 0.345, 0.444, 0.542

4. 실험결과 및 고찰

4.1 칩형상

3차원 절삭 실험에서 생성되는 칩의 형상은 2차원

절삭시 생성되는 칩에 비해 복잡한 형상을 나타낸다. 칩의 형상에 의해 특징적으로 분류하면 Fig. 4와 같이 나타낼 수 있다. 칩은 크게 절단되지 않는 연속형 칩(unbroken chip)과 절단이 이루어진 절단형 칩(broken chip)으로 구분된다.

연속형칩은 낮은 이송 범위에서 얻어지며 칩두께가 얇기 때문에 생성된 칩의 선단이 공작물이나 공구 여유면 등과 접촉하여도 절단이 일어나지 않으며, 불규칙하게 연속적으로 생성되는 스넬드형(snarled type, Ia)과 긴 나선형으로 규칙적으로 생성되는 헬리컬형(helical type, Ib)의 두 가지 형태로 구분된다. 연속형칩은 스넬드형과 헬리컬형 칩은 칩제어 관점에서 제어되지 않은 칩(uncontrolled chip)으로 분류할 수 있다.

절단형칩은 크게 6 또는 9형(6 or 9 type, II), C형(C type, III) 및 아크형(are type, IV)의 3가지 형으로 구분되며, 칩제어 관점에서 제어된 칩(controlled chip)으로 분류할 수 있다.

6 또는 9형(II) 칩은 생성된 칩의 두께가 비교적 얇아, 칩의 선단이 공작물이나 공구의 여유면 등에 접촉하여도 칩에 작용하는 모멘트가 비교적 작아 접촉 즉시 절단이 이루어지지 않고 어느 정도 칩이 성장한 후 6 또는 9형의 형상을 가지며 절단된다. 6 또

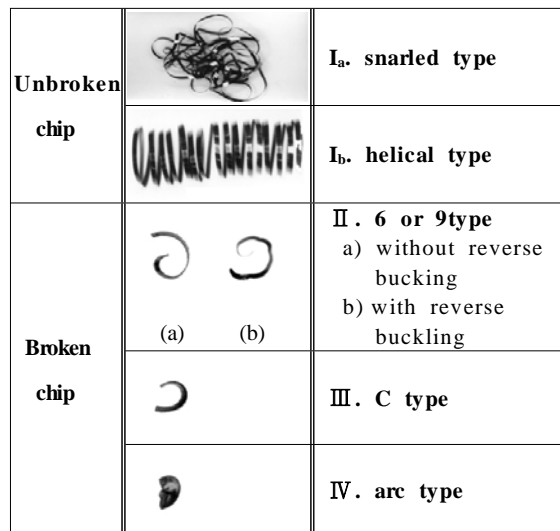


Fig. 4 Typical chip types : Ia. snarled, Ib. Helical, II. 6 or 9, III. C, and IV. arc type chips

는 9형칩 중 절단 전에 칩의 굴곡 방향과 반대방향으로 버클링(reverse buckling) 되는, 즉 역굴곡이 일어나는 이어형(ear type) 칩이 포함되며, 이러한 형상의 칩은 극히 작은 양이 생성되었다. C형(III) 칩은 칩의 두께가 비교적 두꺼워짐에 따라 칩의 선단이 공작물이나 공구 여유면 등과 접촉하게 되면 지연이나 역굴곡 없이 안정적으로 이루어지며 C자 형태를 나타낸다.

아크형(IV) 칩은 C형칩과 유사하나 이송이 큰영역에서 발생되기 때문에 칩의 자유표면에 큰 주름이 형성되며, 칩의 길이가 짧은 쪽에 부분적으로 전단 파괴된 형태를 나타내며 칩이 비산하는 경향이 있다.

4.2 칩두께 (t_c)

칩두께는 각 절삭조건에서 칩을 수거하여 최소눈금이 0.001mm인 포인트 마이크로미터를 사용하여 칩의 중앙부를 10회 측정하여 그 평균값을 구하였다.

Fig. 5에서 보는 바와 같이 칩 두께 (t_c)는 이송이 증가함에 따라 대체적으로 비례하며 증가하는 경향을 보이고 있다. SM10C 강 of 경우 전반적으로 칩두께가 크게 나타나는 것은 쾌삭첨가물이 개재되어있는 쾌삭강에 비해 칩과 공구경사면상의 마찰이 심하며 이에 따른 전단각 감소에 기인한 것으로 판단된다. 쾌삭강 중에서는 PbS 쾌삭강의 경우가 전반적으로 칩두께가 가장 작게 나타나고 있다. 이는 BiS 나 S 쾌삭강에 비해 PbS 쾌삭강의 칩-공구경사면의 마찰상태가 양호하기 때문으로 판단된다.

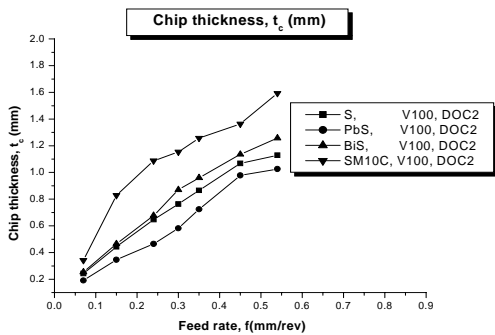


Fig. 5 Chip thickness, t_c (mm) depending on feed rate(mm/rev) (cutting speed : 100m/min, depth of cut : 2mm)

4.3 칩의 폭 (b_c)

칩의 폭은 최소눈금이 공구 현미경을 사용하여 10회 측정하여 그 평균값을 구하였다.

Fig. 6은 절단 칩의 폭을 나타낸 것으로 이송이 증가함에 따라 칩의 폭도 큰값을 나타낸다. 이러한 결과는 이송이 증가함에 따라 칩의 두께가 두꺼워짐에 따라 칩의 변형은 평면변형을 변형상태에서 평면응력 변형상태로 이행하기 때문으로 판단된다. 칩폭의 변화는 PbS가 가장 완만하며 전반적으로 SM10C가 가장 크게 나타내고 있다.

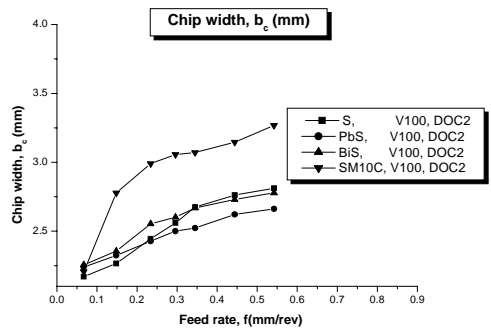


Fig. 6 Chip width, b_c (mm) depending on feed rate (mm/rev) (cutting speed : 100m/min, depth of cut : 2mm)

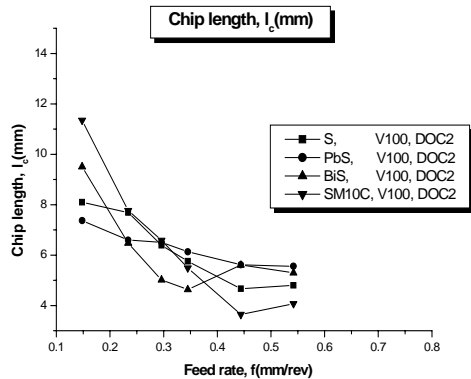


Fig. 7 Chip length, l_c (mm) depending on feed rate (mm/rev) (cutting speed : 100m/min, depth of cut : 2mm)

4.4 칩의 길이 (l_c)

Fig. 7은 이송에 따른 칩의 길이 l_c 의 변화를 나타낸 것이다. 칩의 길이 l_c 는 칩두께(t_c), 칩폭(b_c) 및 칩무게(w_c)를 측정된 후, 그 평균값을 구하여 식 (2)에 대입하여 구하였다.

4.5 칩단면적비 (R_{CA})

Fig. 8은 측정된 칩폭과 칩두께에 의해 얻어진 칩단면적비를 나타낸 것이다. 그림에서 보는 바와 같이 SM10C의 경우 모든 절삭조건에서 매우 큰 값을 나타내고 있어 칩 생성시의 변형이 심함을 알 수 있다.

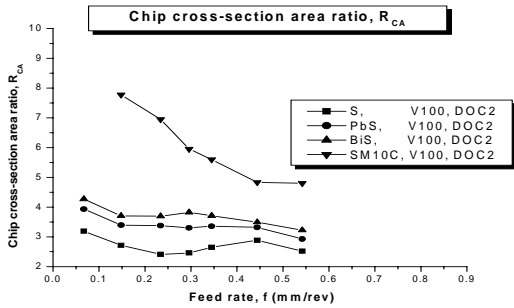


Fig. 8 Chip cross-section area ratio, R_{CA} depending on feed rate (mm/rev) (cutting speed : 100m/min, depth of cut : 2mm)

4.6 칩절단 주기 (T_B)

이송이 증가함에 따라 칩은 연속형에서 불연속형(절단)칩으로 생성되며, 절단되는 주기도 짧아지는 경향을 나타내고 있다.

Fig. 9는 S, PbS 및 BiS 쾌삭강과 SM10C의 이송에 따른 칩절단주기, T_B 의 변화를 나타낸 것이다.

T_B 는 저 이송영역에서는 이송이 증가함에 따라 비교적 급격하게 감소하며 이송이 커짐에 따라 완만하게 감소한다.

칩절단주기가 비교적 급격히 감소하는 영역에서는 칩의 형태가 6 또는 9형의 칩이 생성되어 칩절단주기는 큰 값을 나타내었다. 그러나 이 범위를 지나서 C형의 칩이 발생하기 시작하면, 칩절단주기는 이송이 증가함에 따라 완만하게 감소하는 경향을 나타낸

다. 저 이송영역을 제외하고 SM10C의 칩절단주기가 가장 작게 나타나고 있다. 이는 SM10C의 경우 쾌삭강들에 비해 칩의 두께가 크기 때문으로 판단된다.

이송이 커짐에 따라 적정제어된 C형칩에서 과잉제어된 아크형칩으로 이행되나, 칩절단주기로서 구분하기는 어렵다. 이는 이 영역에서 칩의 두께는 비교적 급격히 커지지만, 칩의 길이 감소는 완만하게 일어나기 때문이다.

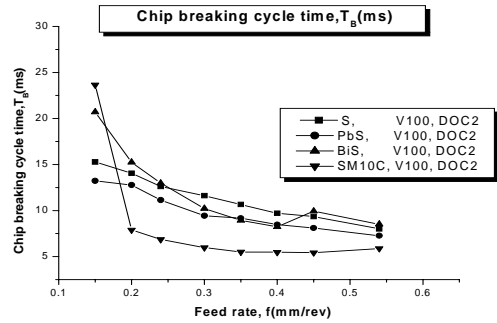


Fig. 9 Chip breaking cycle time, T_B (ms) depending on feed rate (mm/rev) (cutting speed : 100m/min, depth of cut : 2mm)

4.7 칩절단지수 (C_B)

Fig. 10는 각각 S, PbS, BiS 및 SM10C의 이송에 따른 칩절단지수 (C_B)의 변화를 나타낸 것이다. 식 (7)에 나타낸 바와 같이 칩절단지수, C_B 는 칩의 길이에 대한 칩의 두께의 비로써 나타난다.

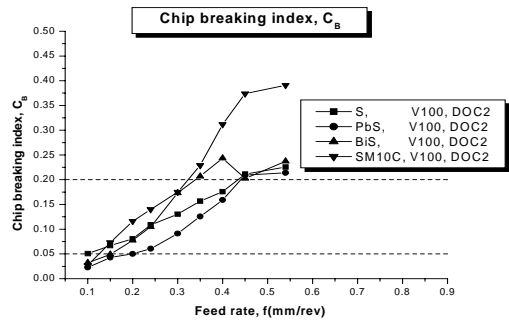


Fig. 10 Chip breaking index, C_B depending on feed rate (mm/rev)

그림에서 보는 바와 같이 칩절단지수값은 이송이 증가함에 따라 증가하는 경향을 나타낸다. 이것은 이송이 증가할수록 절단된 칩의 두께가 길이에 비해 상대적으로 커짐을 의미한다.

피삭재의 재질에 관계없이 C형 칩(III)은 칩절단지수 값이 0.05~0.2의 범위에서 발생하였다.

그러나 피삭재의 재질에 따라 C형 칩(III)이 발생하는 이송속도의 범위는 PbS 쾌삭강의 경우가 가장 넓었으며, SM10C 강 경우 가장 좁게 나타나고 있다. 이는 동일이송조건에서 SM10C 강 경우 칩이 상대적으로 두껍게 생성되기 때문이다.

칩절단지수값이 0.2이상의 값을 가질 경우는 칩이 과도하게 굴곡된 아트형 칩(IV)이 발생하여, 칩이 비산하게 되고 절삭상태가 불안정하게 된다.

pp. 441-445, 1979.

3. 이영문, 최원식, 서석원, “절삭조건과 공구 형상인자로 구성된 무차원 파라미터에 의한 절삭 성능 및 칩절단특성 평가,” 한국정밀공학회논문집, 제11권 제6호, pp. 179-184, 1994.
4. 이영문, 최원식, 장승일, 허인호, “칩절단지수에 의한 칩절단특성 평가,” 대한기계학회 논문집 A권, 제22권 제11호, pp. 1989-1997, 1998.
5. Nakayama, K., “A study of the chip breaker,” Trans. of ISME, Vol. 5, pp. 142-150, 1962.
6. Jawahir, I. S., “On the controllability of chip breaking cycles and modes of chip breaking in metal machining,” Annals of the CIRP, Vol. 39/1, pp. 47-51, 1990.

5. 결 론

1. 동일한 절삭조건에서 PbS 쾌삭강의 칩두께가 가장 작게 나타나고 있다.
2. SM10C의 경우 칩단면적비 (R_{CA})가 모든 절삭 조건에서 가장 큰 값을 나타내고 있어 칩생성시 변형이 심함을 알 수 있다.
3. 칩절단주기 (T_B)는 이송이 증가함에 작아지며, 저 이송영역을 제외하고 SM10C의 칩절단주기가 가장 작은 값을 나타내었다.
4. 칩절단지수 (C_B)는 이송이 증가함에 따라 증가하며, 적정제어된 C형 칩(III)의 발생 범위는 0.05~0.2이었다. 피삭재중 PbS가 가장 넓은 이송영역범위에서 적정 제어된 C형 칩을 생성하였다.

참고문헌

1. Worthington, B., “A comprehensive literature survey of chip in turning process,” Metal cutting machining tools, Vol. 1, pp. 103-116, 1976.
2. Klufft, W., Konig, W., Luttermelt, C. A., Nakayama, K., and Pkelharing, A. J., “Present Knowledge of Chip Control,” Annals of the CIRP, Vol. 28/2,