

절삭 조건과 공구 형상 인자로 구성된 무차원 파라미터에
 의한 절삭 성능 및 칩절단 특성 평가 (I)
 - 2차원 절삭 -

이 영 문*, 최 원 식*, 서 석 원**

Assessment of cutting performance and chip breaking
 characteristics with a nondimensional parameter consists
 of cutting condition and tool shape factor(I)
 - Orthogonal cutting -

LEE Young-Moon*, CHOI Won-Sik*, SEO Seok-Won**

ABSTRACT

In this study a nondimensional parameter, feed/land length(F/L) was introduced, and using this parameter, cutting performance and chip breaking characteristics of the groove and the land angle type chip formers were assessed. Specific cutting energy consumed and shape of broken chip with its breaking cycle time were appraised to find out the ranges of F/L value where efficient cutting and effective chip breaking could be achieved. C type chip was found out to be the most preferable in terms of cutting efficiency.

Key words : 칩포머(chip former) 비절삭 에너지(specific cutting energy)
 칩절단(chip breaking) 칩절단 주기(chip breaking cycle time)

I. 서 론

공작기계와 절삭공구의 발달과 더불어 절삭작업은 더욱 고속화되고 있으며 컴퓨터 제어 공작기계의 급속한 보급에 따른 절삭공정의 자동화 추세로 인하여 절삭시 생성되는 칩의 제어는 매우 중요한 문제로 대두되었

다.^{1,2)}

선삭가공 등 고속절삭시 연속적으로 생성되는 칩은 공구 및 공작물을 손상시키며 공구나 공작물에 영커 절삭작업을 방해하기 때문에 때때로 절삭작업을 중단하고 칩을 제거하지 않으면 안된다. 따라서 절삭작업의 효율성과 원활한 진행을 위해서는 주기적인 칩의 절단을 통

* 경북대학교 기계공학과
 ** 경북대학교 대학원

하여 상기의 문제점을 해결함과 동시에 칩의 제거를 용이하게 해주어야 한다.

연속적으로 생성되는 칩은 방해물형 또는 흠형 칩포머 등에 의해 굴곡된 후 공작물 또는 공구 여유면 등과 간섭하여 절단된다.

칩포머를 채택하는 일차적인 목적은 이상과 같이 연속적으로 생성되는 칩을 굴곡시킴으로서 칩의 절단 및 제거를 용이하게 해주는 것이지만, 이에 못지않게 중요한 목적은 절삭성능의 향상을 기하는 것이다.

최근에는 칩의 굴곡작용 외에 사용상의 편리함과 랜드에 의한 칩-공구 접촉제한효과로 절삭성능을 향상시킬 수 있는 잇점 때문에 선삭용 공구의 기본 형상으로 흠형 및 랜드앵글(land angle)형 칩포머가 성형되어 있는 인서트(insert)공구가 주로 사용되고 있다.

절삭성능 향상을 목적으로 개발된 칩-공구 접촉제한공구(restricted contact tool)의 절삭특성에 대해서는 1950년대 말부터 많은 실험 및 이론적 연구결과가 제시된 바 있으며, 칩-공구 접촉길이에 대한 未變形 칩두께(undeformed chip thickness)의 비가 클수록 절삭성능이 향상되는 경향을 나타내고 있다.^{3,6)} 그러나 이들 공구에 의한 절삭시 칩제어 측면에서의 고찰은 거의 행하여 지지 않았다.

한편 Jawahir⁷⁾는 칩-공구 접촉제한효과가 칩절단특성에 영향을 미치는 주요 인자임을 강조하였으며, 상업용으로 개발된 여러형태의 흠형공구에 대한 절삭성능 비교 실험을 통하여 랜드에 의한 칩-공구 접촉제한효과를 적절히 이용할 경우 보다 효율적인 절삭이 이루어질 수 있을 것이라고 전망하였다.

공구 설계기술의 발달과 더불어 다양한 형상의 칩포머가 개발되어 칩제어의 범위 및 절삭성능의 증대가 이루어지고 있으나 이와같은 개선은 아직도 광범위한 절삭실험을 통하여 이루어지는 비과학적인 시행착오법에 의존하고 있는 실정이다.

특히 칩포머의 절삭성능 및 칩절단 특성에 대한 평가는 이들 두 인자의 상호관련성이 인정됨에도 불구하고 대부분의 연구에서는 독립적으로 이루어지고 있다.

따라서 효율적인 칩제어를 위해서 우선적으로 해결해야 할 과제로는 칩포머의 형상과 절삭조건에 따른 절삭성능 및 칩의 절단특성에 대한 종합적인 평가방법을 정립하는 것이다.

본 연구에서는 이와 같은 목적을 달성하기 위한 그 첫번째 시도로서 랜드부의 존재로 칩-공구 접촉제한효

과를 기대할 수 있는 흠형 및 랜드앵글형 칩포머가 성형되어 있는 인서트 공구에 의한 2차원 절삭실험을 행하였다.

실험결과에 대한 해석에서 절삭조건인 이송(feed)과 공구의 형상인자인 랜드길이(land length)의 비인 무차원 파라미터, 이송/랜드길이(F/L)를 도입하여 절삭성능 및 칩의 절단특성에 대한 종합적인 평가를 시도하였다.

II. 절삭실험

본 절삭실험에서는 선반에서 판의 단면 절삭을 행함으로써 2차원 절삭이 이루어지도록 하였다.

2.1 절삭시편 및 절삭공구

실험에 사용한 절삭시편은 외경 89mm, 내경 74mm인 이음매가 없는 탄소강관(KS, SPPS38)을 재질의 균질화를 위해 내외경을 깎아내어 절삭실험을 행하는 절삭폭(두께)이 2mm가 되도록 준비하였다.

절삭공구로는 시판되고 있는 대표적인 흠형 공구(G형 공구) 및 흠형 공구와 같은 랜드길이를 갖는 랜드앵글형 공구(LA형 공구)를 제작하여 사용하였다. Fig. 1은 이들 공구의 형상을 나타내고 있다.

Table 1.은 본 실험에서 사용한 선반의 제원과 절삭조건을 나타내고 있다 각 절삭조건에서 공구의 측면 절

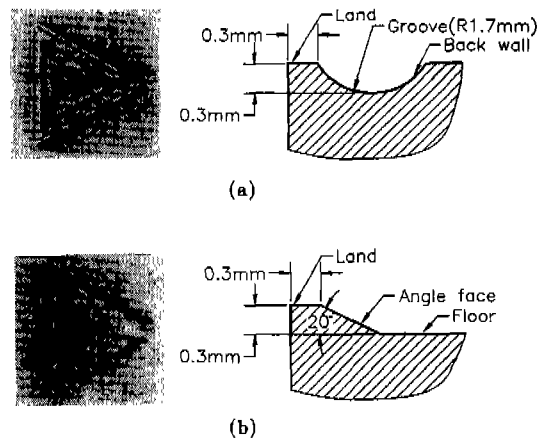


Fig. 1 Photograph and section view of the inserts used : (a)groove type(ISO TNMG 160408), (b) land angle type

Table 1 Lathe & Cutting Test Conditions

1. Lathe	
RPM	: 25-1600(12 steps)
Feed	: 0.07-0.57 mm/rev
Power	: 10 HP
2. Cutting Test Conditions	
Cutting Speed	: 117m/min
Feed Rate(20 steps)	: 0.07 0.09 0.11 0.13 0.15 0.19 0.21 0.23 0.25 0.27 0.30 0.33 0.37 0.39 0.42 0.45 0.49 0.53 0.57 mm/rev
Width of Cut	: 2.0 mm
Side Cutting Edge Angle	: 0 deg
Back Rake Angle	: 0 deg
Side Rake Angle	: -6 deg
Cutting Fluid	: none

삭날과 후방 경사각을 0°로 하여 2차원 절삭(orthogonal cutting)이 이루어지도록 하였다.

공구형상과 절삭조건이 동일하더라도 절삭시 생성되는 칩의 형태는 공구마모에 의해 변화되기 때문에 절삭 실험 전후 공구의 마모상태를 확인하였으며, 마모되지 않는 공구에 의해 절삭실험을 행하였다.

절삭성능의 평가를 위해서 각 절삭조건에서 주절삭분력(F_p) 및 이송분력(F_q)을 압전형 공구동력계(Kistler, 9257A)를 사용하여 측정하였다. 공구동력계에서 측정된 미세한 전압을 전하증폭기(Kistler, 5807A)에서 증폭하여, A/D 변환기(Data translation, DT3831-G)를 통해 디지털화한 후 마이크로 컴퓨터에서 분석하였다.

III. 결과 및 고찰

3.1 절삭특성

Fig. 2는 이송(f)에 따른 칩두께(t_c)의 값을 나타낸 것이며, Fig. 3은 이송에 따른 주절삭분력(F_p) 및 이송분력(F_q)의 변화를 나타낸 것이다. 이송이 매우 작은 영역을 제외하고 칩두께 및 절삭분력은 홈형 공구의 경우가 랜드앵글형 공구에 비해 큰 값을 나타내고 있으며, 이송이 커짐에 따라 그 차이는 더욱 커지는 경향을

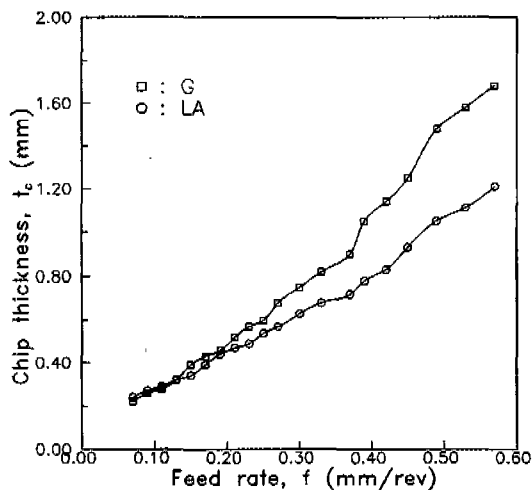


Fig. 2 Chip thickness(t_c) vs. feed rate(f) for groove(G) and land angle(LA) type inserts.

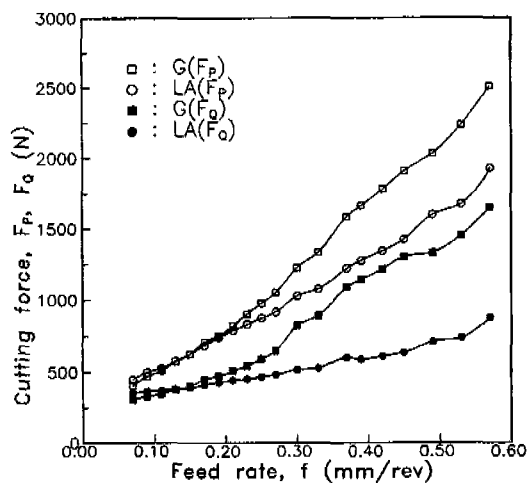


Fig. 3 Cutting forces(F_p , F_q) vs. feed rate(f) for groove(G) and land angle(LA) type inserts

나타내고 있다.

공구 현미경 관찰에 의하면 이송이 0.13mm/rev이하에서는 홈형 및 랜드앵글형 공구 모두 칩과 공구 사이의 마찰은 절삭날 부근의 랜드부에 집중되고 있어 마찰 특성이 비슷하게 나타나고 있으나, 이송이 커짐에 따라 마찰부는 랜드부를 지나 확장되며, 홈형의 경우 이송이 0.30mm/rev이상이 되면 백월(back wall)부에 심한 마

찰흔적이 나타나지만, 랜드앵글형의 경우 백월이 존재하지 않기 때문에 심한 마찰흔적은 나타나지 않는다.

Fig. 4는 흠형 공구로 이송이 0.13mm/rev 및 0.30mm/rev인 조건하에서 약 10초간 절삭한 후의 칩-공구 사이의 마찰상태를 나타낸 것으로 0.13mm/rev의 경우

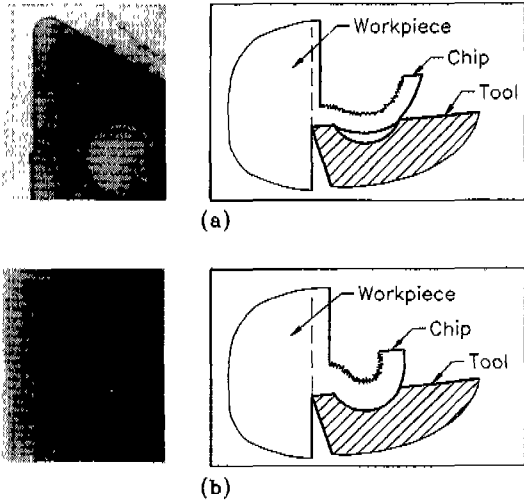


Fig. 4 Photographs showing vestige of chip tool contact of the groove type insert:feed rate:(a) 0.13 mm/rev, (b) 0.30mm/rev.

Fig. 4(a)에서 보는 바와같이 칩은 랜드부와 흠의 전반부 및 후반부의 극히 일부와 접촉한 후 배출되지만, 0.30mm/rev의 경우 Fig. 4(b)에서와 같이 흠의 전영역에 걸쳐 접촉이 일어났음을 알 수 있다.

3.2 절삭성능

절삭 입력조건에 따른 절삭성능의 평가를 위해서 가장 일반적으로 채택되는 파라미터는 비절삭 에너지(u)이다.¹⁰ 본 연구에서는 절삭 조건인 이송과 공구의 형상인자인 랜드길이로 구성된 무차원 파라미터 이송/랜드길이(F/L)를 도입하여 흠형 및 랜드앵글형 공구의 절삭성능을 평가하였다.

Fig. 5는 이송/랜드길이(F/L)에 따른 비절삭 에너지의 변화를 나타낸 것이다. 그림에서 보는 바와같이 F/L 값이 증가함에 따라 G형 및 LA형 공구 모두 비절삭 에너지의 값은 급격히 감소한다. 이는 두 공구 모두 랜드부가 있으며, 이송이 작은 영역에서 랜드부에 의한 칩-공구 접촉길이 제한효과¹¹에 기인한 것으로 판단된

다.

G형 공구의 경우 비절삭 에너지값은 F/L 이 0.8정도에서 최저치를 나타낸 후 완만하게 증가하고, LA형 공

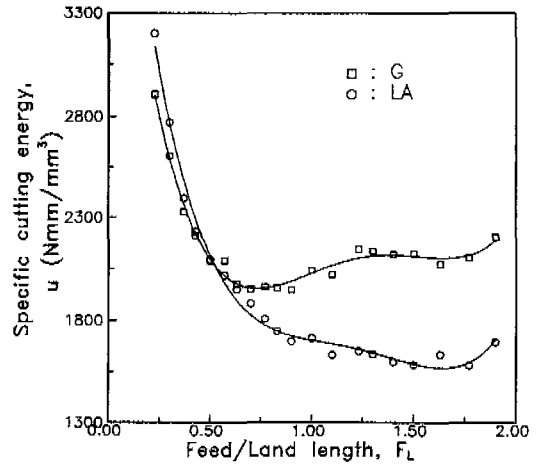


Fig. 5 Specific cutting energy(u) vs. feed/land length(F/L) for groove(G) and land angle(LA) type inserts

구의 경우는 F/L 이 1.5부근까지 계속적으로 감소하다가 증가하는 경향을 나타내고 있다. 이러한 결과로부터 전술한 칩모머 형상과 관련하여 효율적인 절삭이 이루어지는 절삭 조건의 범위를 결정해 줄 수 있다.

3.3 칩절단 특성

Nakayama⁹는 칩의 절단 여부를 결정하는 요소로서 칩두께(t_c), 칩의 굴곡반경(R_c) 및 공작물 재질을 제시한 바 있다. 생성된 칩의 선단이 방해물과 접촉하게 되면 칩에 작용하는 모멘트에 의해 형상이 변하기 때문에 굴곡반경의 결정이 곤란하며, 아직까지 절단된 칩의 굴곡반경에 대한 통일된 기준이 마련되어 있지 않다.

Fig. 6은 절단된 칩의 형상과 칩절단 주기(chip breaking cycle time)를 F/L 값에 따라 나타낸 것이다. 흠형 공구의 경우 F/L 이 비교적 작은 영역에서는 절단되지 않고 영킨 형상의 연속형 칩이 배출되다가 F/L 이 0.43에 이르러 절단된 칩이 생성되기 시작한다. F/L 값이 증가함에 따라 칩절단 주기는 급격히 감소하며 F/L 이 1.0보다 큰 영역에서는 F/L 값이 증가해도 칩절단 주기는 거의 일정한 값을 나타낸다. LA형 공구

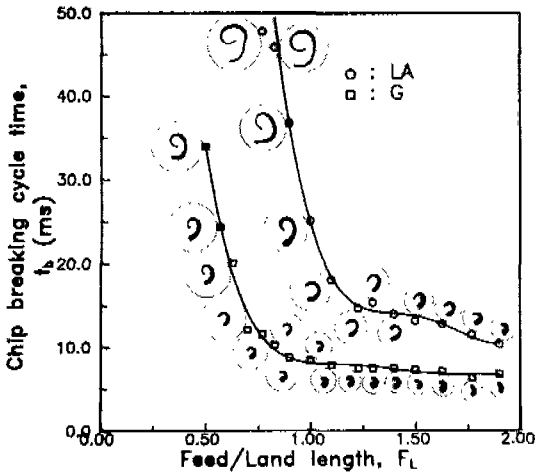
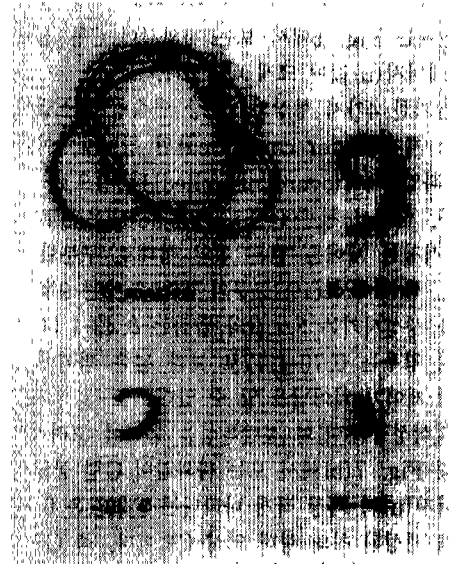


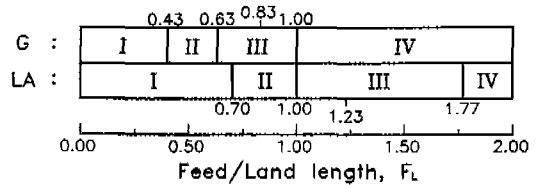
Fig. 6 Chip breaking cycle time(t_b) vs. feed/land length(F/L) for grove(G) and land angle(LA) type inserts

도 G형 공구와 비슷한 경향을 나타내지만 칩절단이 일어나기 시작하는 F/L값은 0.70이며, 전반적으로 칩절단 주기가 크게 나타난다.

생성된 칩의 형상분석으로부터 칩의 형상은 크게 4가지로 분류할 수 있다. Fig. 7은 4가지 형상의 전형적인 형태와 이와같은 형상의 칩이 얻어지는 F/L값의 범위를 나타낸 것이다. 스낼드형(I형) 칩의 경우 칩의 두께가 얇기 때문에 공작물과 접촉하여도 절단이 이루어지지 않으며 계속되는 칩의 생성과 함께 영킨 형태의 연속형 칩이 배출된다. 6 또는 9자형(II형) 칩의 경우 생성되는 칩의 두께가 비교적 얇기 때문에 Fig. 8(a)에서 보는 바와 같이 칩의 선단이 공작물에 닿는 순간 칩에 작용하는 모멘트값이 칩의 절단을 일으킬만큼 크지 않아 칩의 절단이 지연되고 칩의 선단은 공작물과의 접촉을 벗어나며 모멘트암(A_m)의 크기가 특정한 크기에 도달해서 절단이 이루어진다.^{10,11} 이와같은 형상의 칩이 발생하는 구간에서는 F/L의 증가와 함께 칩절단 주기는 급격히 감소한다. 칩절단 주기의 급격히 감소한다. 칩절단 주기의 급격한 감소와 더불어 C형(III형) 칩이 발생하기 시작하며, 칩의 두께가 비교적 크기 때문에 Fig. 8(b)에서 보는 바와같이 칩의 선단이 공작물에 닿는 즉시 절단이 이루어지는 형상이다. 아아크형(IV형) 칩은 칩절단 특성이 C형 칩과 유사하나 랜드길이에 비해 이송이 과다하게 큰 조건에서 생성되기 때문에 칩두께가 매우 크며 굴곡도 심하게 일어나며,¹⁰ 부분적으로



(a)



(b)

Fig. 7 (a) Typical chip types:I. snarled, II. 6 or 9, III. C, IV. arc type chips, (b) Ranges of F/L for the above chip types

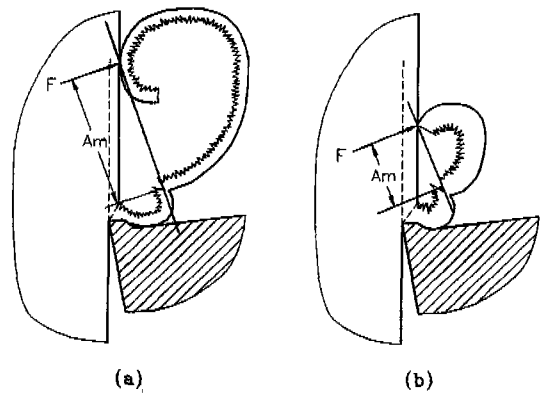


Fig. 8 Chip breaking modes: (a) 6 or 9 type chip, (b) C type chip

전단형 칩의 형태로 발생한다. 이러한 형상의 칩이 발생될 때는 Fig. 5에서 보는 바와같이 C형 칩보다 비절삭 에너지(u)값이 크게 나타난다.

상기한 4가지 형상의 칩 중 연속형인 스닐드형 칩은 과소 제어(under controlled)된 칩이며, 아아크형 칩은 과잉 제어(over controlled)된 칩으로 구분할 수 있다. 따라서 칩제어의 관점에서 6 또는 9자형 및 C형은 적절한 제어를 받은 칩의 형태로 구분할 수 있다. Fig. 7(b)에서 G형 공구의 경우 6 또는 9자형 및 C형 칩을 생성시키는 F/L값의 범위는 0.43-1.00이며, LA형의 경우는 0.70-1.77로 보다 넓은 범위에서 적절한 칩의 제어가 일어남을 알 수 있다.

절삭성능과 칩의 절단특성을 동시에 고려하면, Fig. 5 및 Fig. 7(b)에서 보는 바와같이 G형 공구의 비절삭 에너지(u)가 가장 작게 나타나는 F/L값은 0.8부근으로 이때 생성된 칩의 형태 역시 C형이다. 즉 G형과 LA형 공구 모두 절삭이 가장 효율적으로 일어나는 영역에서 발생하는 칩의 형상은 C형 칩임을 알 수 있다.

IV. 결 론

1. 공구의 절삭성능과 칩절단 특성의 종합적인 평가를 위한 단일 파라미터로서 절삭조건과 공구의 형상인자로 구성된 무차원 파라미터, 이송/랜드길이(F/L)를 도입하였다.

2. 이송/랜드길이(F/L)에 따른 비절삭 에너지와 칩절단 주기 및 칩형상에 대한 고찰을 통하여 효율적인 절삭과 효과적인 칩제어가 일어나는 F/L값의 범위를 결정할 수 있었다. 특히 칩의 과잉 제어 여부에 대한 한계 설정이 임의적으로 이루어지고 있는 실정에서 이의 평가기준으로 칩의 형상과 더불어 비절삭 에너지의 크기가 보다 객관적인 기준이 될 수 있다고 판단된다.

3. 절삭성능 측면에서 볼때 칩포머 형상에 관계없이 C형(Ⅲ형) 칩이 가장 바람직한 형상임을 알 수 있었다.

참고문헌

1. Kluft, W., Konig, W., Luttermelt, C. A., Nakayama, K., Pekelharing, A. J., "Present knowledge of chip control", Annals of the CIRP Vol.28/2, pp.441-455, 1979
2. Rotberg, J., Ber, A., Wertheim, R., "Chip control in cut-off tools", Annals of the CIRP Vol.40/1, pp.73-77, 1991
3. Chao, B. T., Trigger, K. T., "Controlled contact cutting tools", J. Eng. Ind. Trans. ASME, Vol.81, pp.139-151, 1959
4. Oxley, P. L. B., "An analysis for orthogonal cutting with restricted tool-chip contact", Int. J. Mech. Sci., Vol. 4, pp.129-135, 1962
5. Usui, E., Kikuchi, K., Hoshi, K., "The theory of plasticity applied to machining with cut-away tools", J. Eng. Ind. Trans. ASME, Vol. 86, pp.95-104, 1964
6. De Chiffre, L., "Cutting tools with restricted contact", Int. J. MTDR, Vol. 22/4, pp.321-332, 1982
7. Jawahir, I. S., "The tool restricted contact effect as a major influencing factor in the chip breaking: An experimental analysis", Annals of the CIRP, Vol.37/1, pp.121-126, 1988
8. Jawahir, I. S., Qureshi, N., Arsecularatne, J. A., "On the interrelationships of some machinability parameters in finish turning with cermet chip forming tool insets", Int. J. Mach. Tools Manufact. Vol.32/5, pp.709-723, 1992
9. Nakayama, K., "A Study on chip breaker", Bulletin of JSME, Vol.5/17, pp.142-150, 1962
10. Bator, J. S., "Power reduction through efficient chip control", Cutting Tool Engineering, pp.4-8, 1975
11. Jawahir, I. S., "On the controllability of chip breaking cycles and modes of chip breaking in metal cutting", Annals of the CIRP, Vol.39/1, pp.47-51, 1990