

## 드릴의 기하학적 상사성이 칩형상에 미치는 영향

Effect of Geometrical Similarity between Twist Drill on the Shape of Chip Produced

최만성(한국기술교육대), 문용수\*(한국기술교육대원)

### ABSTRACT

In this study, geometrical similarity conditions for drills of various diameters are discussed. The effect of geometrical similarity on the chip shape and forces of different sized conventional drills has been experimentally confirmed. Drilling tests are carried out for SM45C by using the conventional HSS drills. The torque and thrust forces are measured and compared with those chip forms. Chip shape in drilling are affected by three factors being flow angle, side and up curl of the chip. It is found that the feedrate and drill diameter are more affected than cutting speed on the chip form and cutting forces. The similarity conditions gives easily to estimate the chip shape, the thrust and the torque for drills of different diameters.

#### 1. 서론

절삭가공 중에서 드릴에 의한 구멍뚫기 가공은 양적으로 큰 비중을 차지할 뿐 만 아니라 트러블의 원인이 되기 쉽다고 하는 점에서도 많은 연구를 요하는 가공법이다. 드릴은 트위스트 드릴(이하 드릴이라 한다)이 가장 널리 사용되고 있지만 이것에는 칩의 배출과 진동회전의 문제가 있고 이것과 관계 깊은 드릴수명이나 구멍정도의 면에서 개선이 많이 필요하다. 드릴로 연성재료를 구멍뚫을 때 칩은 구멍깊이가 증가하면 구멍주벽이 강한 구속을 받아서 칩 유출이 방해받고 이 결과 칩 외측 부분의 두께가 증가하여 주기적으로 파단 되고 절삭저항이나 토크의 증대와 함께 그 변동이 심한 것으로 밝혀져 있다.<sup>1)</sup> 따라서 드릴의 구멍뚫기 성능의 향상을 위해서는 칩의 유출을 용이하게 하고

칩의 형상으로서는 폭이 좁고 긴 피치형으로 하는 것이 매우 유효하다.

한편 드릴은 칩줄에지의 절삭성능이 떨어지고 구심성이 악화 되기 때문에 두개의 공구날이 충분한 대칭성을 얻기 어렵고, 구멍뚫기 초기에 진동회전을 일으키기 쉬우므로 고정도의 구멍가공은 쉽지않다.

현재 드릴가공에 있어서 칩의 생성상태와 절삭저항의 정량적인 해석이 꽤 이루어져 있는데,<sup>2)3)4)</sup> 주로 2차원절삭에 있어서 곡면의 슬립선장을 이용하여 2차원 절삭데이터를 구하고 드릴을 직선의 공구날로 가정하여 3차원화 한 것이다. 그러나 이와같은 모델에서는 실제 드릴가공을 시뮬레이션 하기가 어렵고 그 해석절차 또한 복잡하여 응용에 있어서 제한이 따르게 된다. 또한 경사면이 평면이라 가정하고 칩생성기구를 해석한 것도 있는데<sup>5)</sup> 이러한 가정이 많이 포함 되어 있는 것은 그만큼 드릴가공의 절삭성능이나 칩 형태의 예측이 이론적으로 접근하기가 어렵다는 의미가 포함된다. 따라서 본 연구에서는 지름이 다른 드릴 사이의 기하학적 상사를 고려하여 절삭저항과 칩 형상을 정성적으로 검토하고자 한다. 이것은 보통 절삭가공에서는 절삭동력의 대부분이 칩 생성에 소비되고 드릴가공에서는 칩의 배출성이 절삭저항, 드릴수명, 구멍정도 등에 크게 영향을 미치므로 칩은 절삭상태에 대한 정보원이 될 수 있기 때문이다. 드릴은 경사각이나 절삭속도가 경우에 따라 바뀌기 때문에 이론적 취급이 대단히 어렵지만 K.Nakayama<sup>6)</sup>의 문헌에서 나타난 사실로부터 본보에서는 정상 칩을 하나의 나선면으로 간주 하므로써 비교적 간단

하게 실험적 내용을 분석해보았다. 한편 공작기계의 가공능력을 활용하여 고능률의 절삭가공을 하기 위해서는 절삭저항을 고려한 절삭조건을 선정하는 것이 필요하다. 드릴가공에서의 절삭저항을 간단하게 평가하기 위한 절삭실험 데이터가, 혹은 피삭재의 경도 등을 파라메타로 한 실험식이나 차원해석을 적용하여 유도한 실험식이 발표되어 있는데, 본보에서는 지름이 다른 드릴의 기하학적 상사성을 생각하여 절삭저항의 실험적인 경향과 칩 배출의 관계를 동시에 고찰하였다.

칩의 형상은 동일조건 하에서 절삭해도 변동하는 것이 많다. 그 이유 중의 하나는 공구날 부근은 절삭력에 의해 소성변형되고 힘이 조금만 가해져도 슬립(slip) 변형되어 칩의 형상이 바뀌기 때문이다. 절삭 중에는 칩의 길이가 점차 증가되고 무게중심의 위치도 변화하여 절삭토크도 변동한다. 따라서 변동하는 칩은 각 순간의 조건에 대한 정상칩의 조합이라 생각하고 정상칩에 대한 고려를 먼저한다. 정상칩의 일반적인 형은 나선형으로써 경사면이 접평면이 된다. 나선의 특별한 경우로써 곡률이 0이면 직선형의 칩이 되고 피치가 0이면 원호가 된다. 나선형을 결정하는 되는 3개의 독립량이 필요하고 절삭기구와 관련시키기 위해서는 상향커얼의 곡률, 횡방향커얼의 곡률, 유출각을 이용하면 편리하지만 배출된 칩의 분류에 따라 나선의 외경  $2p$ , 피치  $p$ , 나선의 축과 모선이 이루는 각  $\theta$ 를 이용하는 것이 편리한 경우가 많다. 이외에 칩의 폭  $b$ , 두께  $t$  및 칩의 감긴 수  $n$ (혹은 칩의 길이  $l$ )이 주어지면 칩의 형은 완전히 결정될 수 있다.

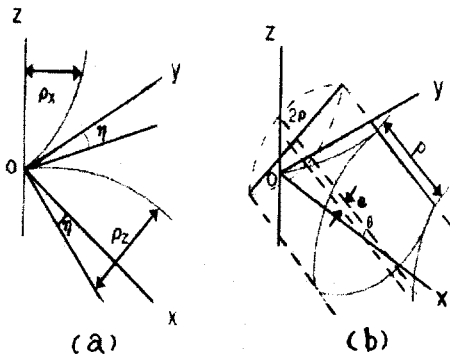


Fig.1 Helix as the compound of two orthogona circular arcs.

Fig.1(a)로 부터 공구경사면에서 공구-칩 접촉면의 종단부를 칩 분리선과 이 선을 기준으로 하여 좌표계  $(x, y, z)$ 를 그림과 같이 잡고 칩 생성점에서의 운동을 생각한다. 칩은 그 생성점에서  $x$ 축과 평행한 점 주위의 회전운동(상향커얼 각속도  $\omega_x$ , 곡률반경  $\rho_x$ )과  $z$ 축에 평행한 축 주위의 회전운동(횡방향커얼 각속도  $\omega_z$ , 곡률반경  $\rho_z$ )을 해가면서  $y$ 축에 대해  $\eta$ 만큼 기울어져 유출하므로, 칩의 형상을 결정하는 량( $\rho$ ,  $p$  및  $\theta$ )을  $\rho_x$ ,  $\rho_z$  및  $\eta$ 로 나타낼 수 있다.

즉 모든 칩 의형상은 상향커얼, 횡방향커얼, 유출각으로 나타낸다. 이들이 합성되어 회전축에 대해서 회전운동과 병진운동을 한다. 여기에서 중요한 것은 경사면은 칩의 접평면에 있기 때문에 이 단면에 있어서 칩의 속도벡터는 어디든 경사면에 평행하고  $z$ 방향의 속도성분은 가지지않는다. 따라서 당연히 그 속도성분의 장소에 의한 차도 0이고  $y$ 축 주위의 회전운동성분은 전혀 없다. 즉 좌표축을 이와 같이 잡으면 칩의 회전운동의 운동 축은  $x$ - $z$ 평면 혹은 이것과 평행한 평면 내에 있을 것이다. 이에 관한 관계를 그림으로 나타내면Fig.1(b)와 같다. 이 나선의 중심축은  $x$ - $z$ 평면에 평행한 평면, 즉  $y$ =일정(=e로 한다)인 평면 내에 있고  $x$ 축에 대해 각  $\theta$ 만큼 기울어져 있으며 다음과 같이 표현 된다.

$$\theta = \tan^{-1} \frac{\rho_x}{\rho_z \cos \eta} \quad (1)$$

또한 나선이 말리는 원주의 반경  $\rho$ 와 나선의 피치  $p$ 는 다음과 같다.

$$\rho = \sqrt{\frac{1 - \sin^2 \eta \cos^2 \theta}{(\cos \eta / \rho_x)^2 + (1 / \rho_z)^2}} \quad (2)$$

$$p = 2\pi \rho \tan \lambda = \frac{2\pi \rho \sin \eta \cos \theta}{\sqrt{1 - \sin^2 \eta \cos^2 \theta}} \quad (3)$$

또한  $x$ - $z$ 평면으로 부터의 거리  $e$ 와 나선의 리드각  $\lambda$ 는 다음과 같이 구해진다.

$$e = \frac{\rho \sin \eta \sin \theta}{\sqrt{1 - (\sin \eta \cos \theta)^2}} \quad (4)$$

$$\lambda = \sin^{-1}(\sin \eta \cos \theta) \quad (5)$$

## 2. 실험장치 및 방법

드릴에서는 공구날 위의 위치에 따라서 경사각이나 절삭속도가 다르지만 양 공구날로 부터 나오는 칩은 보통은 각각 일체가 된다. 일체이기 위해서는 공구날 상의 각 점으로부터 나오는 칩 요소의 유출속도와 유출방향이 전절에서 나타낸 조건을 만족하고 칩 전체가 하나의 나선면을 구성하지 않으면 안된다. 그러나 드릴의 공구날 각부의 형상이 이 조건을 완전히 만족하지않고 칩형상의 외부조건에 대한 큰 “적응성”이 칩내의 각 요소에도 존재하기 때문에 각 요소간의 상호 간섭에 따라 유출속도와 방향이 수정되고 그 결과 일체조건이 유지되는 것으로 생각된다.

드릴로부터 나오는 칩이 일체인 것은 드릴형상이 합리적인가 혹은 칩 내부의 상호 간섭에 의한 것이 큰가를 조사하기 위해 지름이 다른 밀구멍을 판 가공물에 드릴가공 한 칩 형상의 변화를 측정했다. 먼저 드릴가공에 대해서 구멍의 깊이에 의한 표기 저항의 변화를 실험을 통하여 알아보았고, 이에 대한 조건은 Table 1과 같다.

Table. 1 The Specification of the Experimental Instruments

Name	Model	Co. Ltd
Machining Center	NT 80	SAEIL Heavy Co.
Dynamic Strain Amp.	N9354	SHOWA
Tool Dynamometer	TSM-B Series	TOKYO Testing M/C
Data Acquisition Sys.	DT3831-G	DATA TRANSLATION

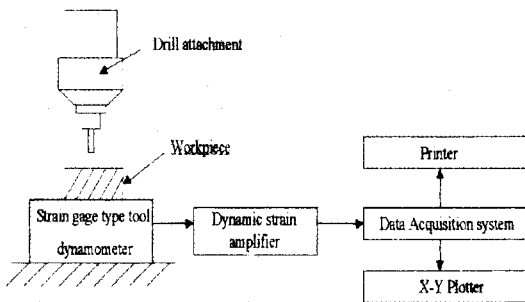


Fig.2 Experimental setup

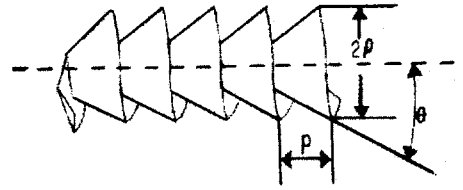


Fig.3 Notation of idealized chip

피삭재는 SM45C로써 두께 200mm의 시편을 가공하여 사용하였고, 드릴은 시편의 표준 비틀림드릴, 비틀림각 28도, 선단각 118°의 형상으로 지름이  $\Phi 3$ ,  $\Phi 6$ ,  $\Phi 9$ ,  $\Phi 12$ ,  $\Phi 16$  mm의 5가지 종류로 하였다. 절삭조건으로써는 절삭속도 15, 17, 19, 21, 23 m/min로 바꾸고 이송은 0.1~0.32mm/rev의 범위에서 실험을 하였다. 절삭저항은 Table 1과 같이 공구동력계(탄성원통의 비틀림과 압축변형률을 저항성 변형률 게이지로써 측정 한 것)의 위에 가공물을 붙이고 토크와 스러스트를 Fig.2와 같이 측정했다. 칩 형상의 측정은 칩을 공구현미경 위에 두고 Fig.3처럼 외경  $2p$ , 피치  $p$ 를 측정하였다.

## 3. 실험결과 및 고찰

드릴의 지름이  $\Phi 3$ mm,  $\Phi 6$ mm,  $\Phi 9$ mm,  $\Phi 12$ mm,  $\Phi 16$ mm일 때 칩형상을 표현할 수 있는 변수에 대한 변화를 Fig.4~Fig.7처럼 나타내었다. Fig.4는 절삭속도를 15, 17, 19mm로 바꾸었을 때 칩의 갠긴수  $n$ 을 나타낸 것으로 긴 피치형의 칩을 배출하는데 있어서 드릴지름의 영향을 나타낸 것이다. 그림에서 보듯이 드릴구멍의 지름이  $\Phi 9$ mm,  $\Phi 12$ mm 일때 절삭속도에 관계없이 가장 긴피치형의 칩이 배출됨을 알 수 있다. 이것은 칩의 구속조건이 드릴의 직경에 의해 그 배출조건이 최적화될 수 있음을 보여주는 것이다. Fig.5는 같은 절삭속도의 변화에 따라 칩 피치  $p$ 의 변동을 나타낸 것인데  $\Phi 9$ mm,  $\Phi 12$ mm 일 때 칩의 피치가 짧아짐을 알 수 있다. 따라서 칩의 피치가 짧아질수록

칩이 감기는수가 많음을 볼 수 있고 칩의 피치와 칩의 감기는 수  $n$ 은 역함수 관계가 있음을 알 수 있다. 또한 Fig.4와 Fig.5로 부터 드릴의 지름이 너무 작거나 커면 칩은 빨리 절단됨을 의미하기도 한다. 보통 긴 피치형 칩이 생기는 것은 구멍 주변의 구속이 심하기도 하고 외주의 공구날의 절미가 나쁜점에서 두꺼운 칩을 내는 경우가 있다. 그 내측은 크랙을 일으키는 경우가 많다.

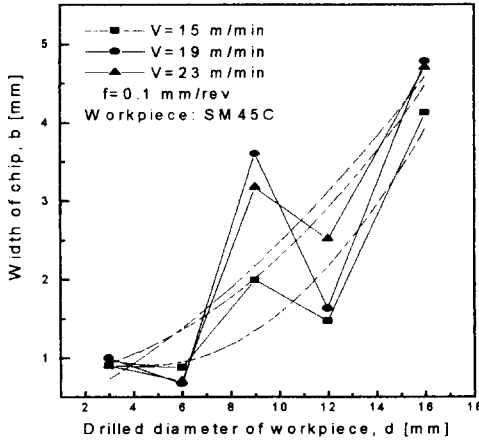


Fig.4 Effect of drilled diameter on number of chip with cutting speed.

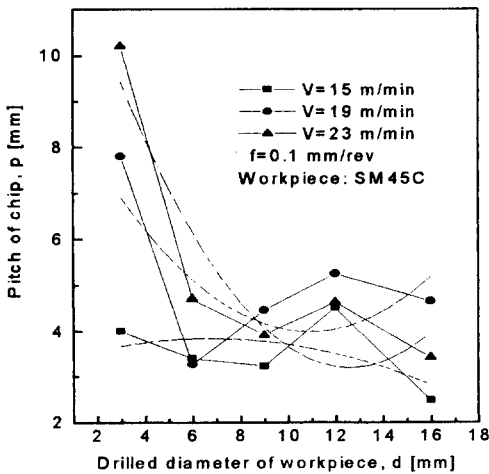


Fig.5 Effect of drilled diameter on chip pitch with cutting speed.

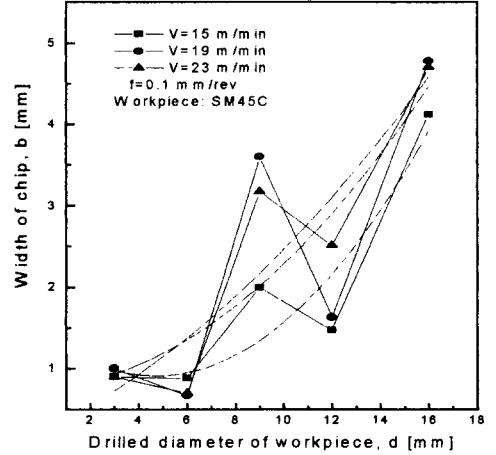


Fig.6 Effect of drilled diameter on width of chips with cutting speed.

Fig.6는 지름의 변화에 의한 칩 폭의 변동을 나타낸 것으로 그 변화의 양상은 일정하지 않으나 대체로 구멍의 크기가 증가할 때 동시에 증가하는 모습을 볼 수 있다.

이것은 칩이 생성될 때 열팽창에 의한 폭의 증가로 생각되고 구멍가공 시 생성되는 절삭열의 영향이 적지 않음을 시사하는 것이다.

Fig.7는 절삭속도의 변화와 함께 드릴지름의 증가에 따른 칩 두께의 변동을 표시한 것인데 그림을 살펴보면 변화의 경향은 뚜렷하지 않으나 절삭속도의 증가에 따른 칩 두께의 감소라는 일반적인 성향은 보인다. 드릴가공 시 드릴의 상사성에 의한 칩 두께의 변화가 일정하지 않음은 드릴가공에서 흔히 보이는 보행현상에 의한 영향에 기인하는 것으로 생각 된다.

Fig.8은 식(5)에 따른 칩의 리드 각  $\lambda$ 의 변화를 나타낸 것인데 드릴지름이 증가할 수록 리드 각은 점차 감소하고 그 변화의 양상은 칩의 폭이나 두께에 비해 뚜렷한 함수관계를 갖고있다. 따라서 드릴의 상사성에 따라 긴 피치형의 칩을 배출하는 파라미터로써, 칩형상에 직접적인 영향을 미치는 것은 리드 각  $\lambda$ 임을 이 그림에서 알 수 있다.

Fig.9는 지름의 변화에 대한 스러스트의 변화를 나타낸 것인데 절삭속도에 관계없이 거의 선형적인 함수관계를 보여주고 있다. 따라서 드릴의 상사성에 관련된 종속변수로써는 스러스트입을 여기서 볼 수 있고 드릴에서 배출되는 칩의 형상에 크게 영향을 받지 않음을 알 수 있다.

드릴의 상사성에 따른 드릴의 구멍뚫기 성능을 비교하기 위해서 직경  $\Phi 3\text{mm}$ ,  $\Phi 6\text{mm}$ ,  $\Phi 9\text{mm}$ 의 드릴로써 절삭속도를 15, 17, 19, 21, 23 m/min로 바꾸고, 이송율 0.1, 0.22 mm/rev로 바꾸어 실험하였다. 이송속도의 변화에 따라 지름이 작은 드릴의 경우는 거의 절삭속도에 따라 변화가 적은 반면 드릴지름이 커질수록 변화의 폭은 커지게 된다. 이것은 K.Nakayama<sup>6)</sup>의 문헌에서 언급하였듯이 구멍 주벽의 심한 구속이 있는 경우 칩이 주기적으로 잘려져 칩이 절단형 칩을 내고, 이에 따라 절삭저항 특히 토크가 심하게 변동하고, 아울러 칩의 두께가 두꺼워져서 칩의 곡률 반경  $\rho_x$ 가 무한대로 증가하기 때문이다.

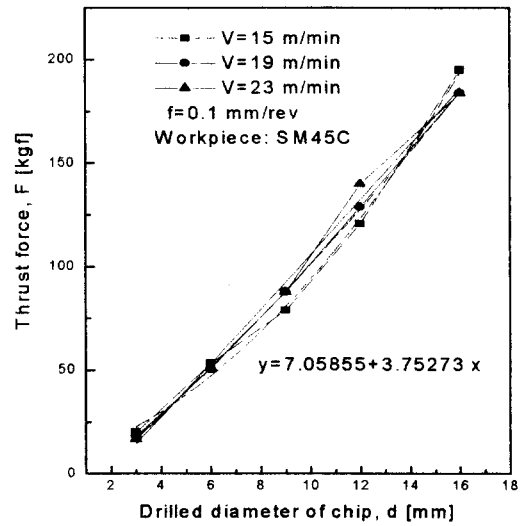


Fig.8 Effect of drilled diameter on thrust force with cutting speed.

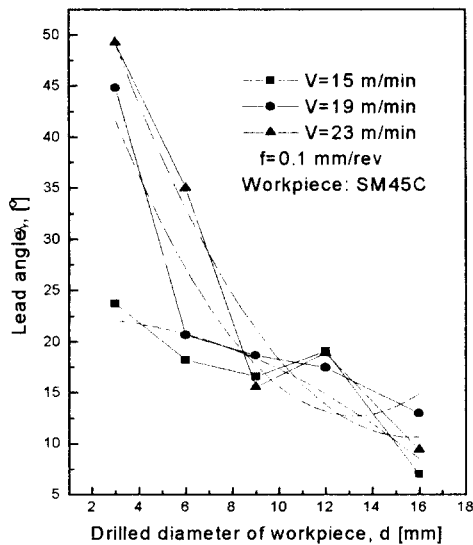


Fig.7 Effect of drilled diameter on lead angle with cutting speed.

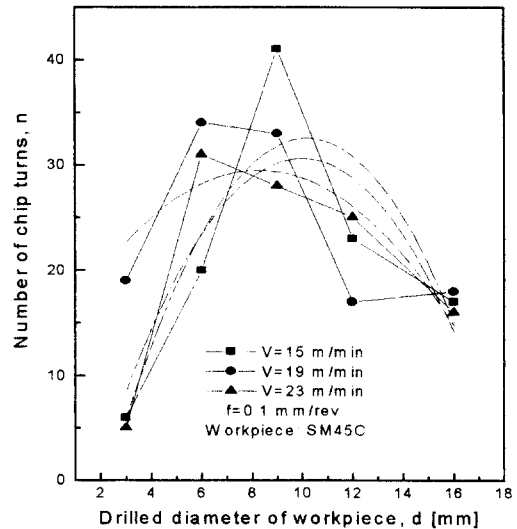


Fig.9 Effect of drilled diameter on thickness of chip with cutting speed.

#### 4. 결론

비틀림 드릴의 칩형상을 드릴의 기하학적 상사성과 관련하여 실험한 결과 다음의 결론을 얻었다.

- (1) 드릴지름의 변화에 따른 드릴의 기하학적 상사성에 가장 뚜렷한 관계를 갖는 인자는 리드각이며, 칩의 감김수와 피치는 역함수 관계가 있다.
- (2) 드릴구멍이 어느 정도 증가하면 절삭속도가 일정할 때 절삭토크의 변화가 현저하고 이것은 칩의 두께 변화에 기인한다. 이와같은 절삭조건 변화에도 스러스트의 변화는 거의 일정한데 이것은 배출되는 칩의 운동이 드릴의 반경방향으로 유출하는 경향이 강하고 구멍깊이 방향으로는 큰 영향을 미치지 않기 때문이다.
- (3) 일정한 절삭속도 하에서 드릴지름과 이송을 증가시키면 절삭토크는 선형적으로 증가하는데 이것은 칩이 주벽의 구속을 받고 외측의 두께가 증가하여 긴 피치형으로 바뀌는데 원인이 있다.

#### 참고문헌

- 1.中山一雄, 小川 誠, “切りくず形状から見たねじれ刃ドリルの切削性能”, 精密機械, 43, 4 pp.427, 1977
- 2.A.Hirota,K.Kasahara,“Analytical Prediction of Chip Formation and Cutting Forces in Drilling Operation” (2ndReport),-Comparison of Predicted and Experimental Results-, JSPE, Vol47, No9, pp74-80, 1981.
- 3.A.Hirota,M.Tanaka,K.Kasahara ,” Analytical Prediction of Chip Formation and Cutting Forces in Drilling Operation”(3rdReport),- A Cutting Model for Chisel Edge with Restricted Tool-ChipContact Length-,Vol.53, No.8. pp.106-112, 1987.
- 4.A.Hirota,M.Tanaka,K.Kasahara ,” Analytical Prediction of Chip Formation and Cutting Forces in Drilling Operation”(3rdReport),- A Cutting Model for Chisel Edge with Restricted Tool-Chip ContactLength-,Vol.53,

No.8. pp.106-112, 1987.

5.K.Kasahara, A. Hirota,“Drilling with Flat Rake Face Drill sand Analysis so Long-Pitch Helical Chip Formation Process”,JSPE, Vol.56, No.6, pp.117-123, 1990

6.K.Nakayama,“Chip Control in Metal Cutting” Bull.JSPE, Vo.118, No.2, pp.97-103, 1984