

# 미소직경의 Single Edge형 드릴을 사용한 심공드릴링 공정의 가공특성에 관한 연구

최성주\*, 이우영<sup>+</sup>, 박원규<sup>++</sup>

(논문접수일 2003. 10. 8, 심사완료일 2003. 12. 5)

## A Study on the Characteristics of Deep Hole Drilling Process Using Single Edge Drill with Small Diameters

Seong Joo Choi\*, Woo Young Lee<sup>+</sup>, Won Kyoo Park<sup>++</sup>

### Abstract

Applications of the deep hole drilling process can be found in many industries ranging from large aerospace manufacturer to small tool and die shop. Deep hole drilling process with small diameter generally requires high quality and accuracy. But problems which may arise or result from the deep hole drilling process include drill breakage, the generation of a finished part surface which does not satisfy required quality, and process instability. To guaranty the required machining quality and accuracy, it is important to understand and improve the deep hole drilling process. In this study, deep hole drilling experiments using single edge drill with small diameter under 2mm have been carried out for difficult to cut materials such as C42CrMo4 and C45Pb and the experimental results were analyzed. Feed force and torque versus feed showed linear relationship in both materials. The feed force and torque are decreased as cutting speed is increased but the trends are not uniform in C42CrMo4.

**Key Words :** Deep Hole Drilling, Single Edge Drill, Torque, Feed Force, Chip Formation

## 1. 서론

최근 생산기술의 발전에 따라 가공 시스템이 점차 무인

화, 자동화 되고 있으며 보다 정밀하고 능률적인 시스템의 도입이 요구되고 있다. 드릴링 공정은 금속 가공 중 그 비중이 30 ~ 40%에 달할 정도로 상당히 중요한 공정중의

\* 한국기술교육대학교 기계정보공학부 (sjchoi@kut.ac.kr)

주소: 330-708 충남 천안시 병천면 가전리 307

+ 한국기술교육대학교 기계정보공학부

++ 충남대학교 대학원 기계공학과

한 부분이다. 최근 초소형화 된 전자부품, 광섬유 커넥터, 의료용 광학기기, 자동차 엔진 등에 미세 가공기술의 적용이 확대되고 있다. 일반적으로 깊은 구멍을 가공하기 위하여 종종 다음과 같은 세 가지의 심공드릴링 및 보링방법 즉 single edge 드릴링, BTA 드릴링, 이젝터 드릴링 등이 사용된다. BTA와 이젝터 드릴링은 전용기계에서만 사용되는 반면 single edge 드릴링방법은 선반이나 M/C에서 적용될 수 있다. 따라서 single edge 드릴링방법은 전용기를 사용하지 않아서 장비투자비용을 절감할 수 있고 M/C에서 큰 깊이-직경비의 고품질의 드릴링을 할 수 있다. 이 공정에서 다음과 같은 기계적인 사양 및 요구사항 즉 고압의 냉각유를 할 장치, 가이드 부시 등이 고려되어야하며 필요한 고속을 얻기 위해서 스피들이 충분한 고속 범위에 있어야한다. single edge드릴링은 높은 표면 품질과 정밀도를 실현할 수 있으므로 추가적인 공정을 거치지 않아도 되는 이점이 있다. 이러한 경제적인 이점으로 인하여 L/D비가 5보다 작은 얇은 경우에도 적용이 된다. 직경의 범위가 0.9 ~ 2 mm의 작은 직경을 single edge드릴의 개발에 의하여 single edge 드릴링작업으로 인젝션 노즐 또는 밸브, 필터 등을 제작할 수 있게 되었으며 아울러 이 방법의 전형적인 장점인 높은 금속제거율(metal removal rate)과 고품질의 구멍가공으로 생산성도 높게 되었다.

구멍가공의 경제성은 필수적인 작업 시간을 감소하는 것이다. 필수적인 작업 시간을 결정하는 절삭조건은 높은 금속제거율을 얻을 수 있도록 설치된 모터의 동력이 도달할 수 있는 범위 내에서 결정된다. 드릴링 공구의 동적저동으로 공정이 불안정해 지기도 하므로 절삭조건이 경제적인 측면으로만 결정될 수는 없다. 이송속도가 너무 빠르거나 다른 파라미터가 최적화되지 못하였다면 드릴링 공정의 품질

과 건전성을 해칠 수 있으며 최악의 경우에는 드릴의 파손에 이르게 된다. 특히 작은 직경의 single edge드릴링에서 사용되는 공구는 상대적으로 가격이 비싸므로 작업자는 드릴이 파손되지 않도록 공정을 숙달하여 작업의 손실을 줄이는 것이 중요하다.

본 연구에서는 직경이 2mm 이하인 미소 직경의 single edge 드릴에 의한 난삭재의 심공 드릴링 공정에 있어서 최적 절삭조건을 찾기 위하여 절삭조건들을 변경하면서 실험을 수행하였고 실험결과를 분석하였다.

## 2. 실험장치와 방법

본 실험에 사용한 시편은 C45Pb와 42CrMo4의 2종을 선정하였다. 이들의 화학적 성분과 기계적 성질은 Table 1 및 Table 2와 같다.

실험에 사용된 시편은  $\varnothing 18 \times 150\text{mm}$ 의 환봉이 사용되었으며 반경 6.7mm의 원주상에 8개의 구멍을 뚫었다. 실험에 사용된 공구는 sintered carbide single edge형 심공드릴이었으며  $\varnothing 1.67$ , 길이 195mm로 Fig. 1에 그 형상을 나타내었으며 Fig. 2에 크기가 다른 여러 가지 다른 single edge형 드릴의 사진을 나타내었다.

### 2.1 실험장치

본 실험에 사용된 실험장치는 수평형 CNC 심공드릴링 머신(Type HS 1/350, TBT사)으로 가공능력은 max.  $\varnothing 6\text{mm}$ , max. 깊이 350mm, 스피들 동력 2KW, 스피들 회전수는 5,000 ~ 24,000까지 변환 가능하다. 또한 이송속도는 20mm/min ~ 850mm/min, 최대절삭유 압력은 220bar, 최대 절삭유 공급량은 380ml/s 이다. Fig. 3에 실험장치의 개

Table 1 Chemical composition of the workpiece

Materials	Chemical Composition(%)						
	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo
C45Pb	0.42~0.50	≤0.4	0.5~0.8	0.04	0.03		
42CrMo4	0.38~0.45	≤0.4	0.6~0.9	0.04	0.03	0.9~1.2	0.15~0.30

Table 2 Mechanical properties of the workpieces

Materials	Yield Strength(N/mm <sup>2</sup> )	Tensile Strength(N/mm <sup>2</sup> )	Hardness(HV)
C45Pb	340	580	296
42CrMo4	900	1200	300

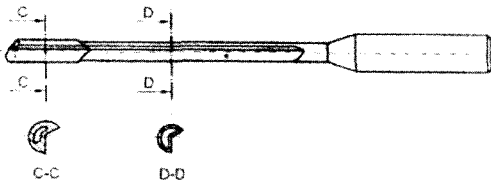


Fig. 1 Shape of the single edge type drill

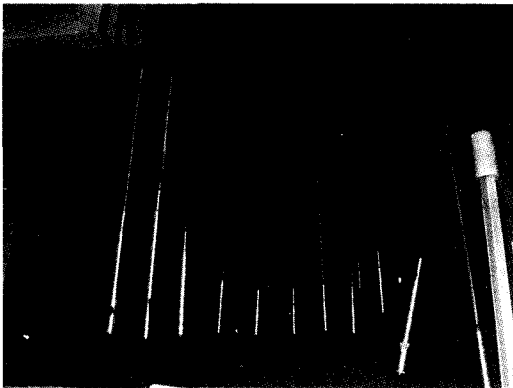


Fig. 2 Single edge type drills

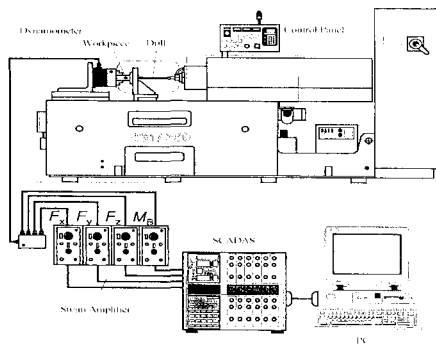


Fig. 3 Setup of the experimental apparatus

략도를 나타내었다. 심공드릴링 가공시 이송력과 토크를 측정하기 위하여 4성분 공기동력계(Kistler)가 사용되었으며 실험 데이터는 데이터 수집장치(SCADAS II)를 통하여 PC에 전달되어 저장되고 해석되었다.

## 2.2 실험방법

실험은 CNC 심공 드릴링머신 축에 드릴 고정구를 통하여 드릴을 고정시킨후 심공 드릴 가공하였다. 절삭유는 드릴내



Fig. 4 Deep hole drilling machine

Table 3 Drilling conditions

	이송속도 (mm/min)	120	160	200	240	280
회전수(rpm)	절삭속도 (m/min)	이 송(μm/rev)				
9530	50	12.6	16.8	21	25.2	29.4
11440	60	10.5	14	17.5	21	24.5
13340	70	9	12	15	18	21
15250	80	7.9	10.5	13.1	15.7	18.4
17150	90	7	9.3	11.7	14	16.3
19060	100	6.3	8.4	10.5	12.6	14.7

부의 hollow형의 덕트를 통하여 공급되며 칩이 드릴 외부의 채널을 통하여 배출되도록 하는 역할을 한다. 실험에 사용된 절삭유는 심공가공에 일반적으로 사용되는 Mobilmet762를 사용하였다.

절삭조건으로 절삭속도는 50m/min ~ 100m/min, 이송속도는 120mm/min ~ 280mm/min 범위에서 변화시키면서 드릴가공하였으며 Table 3에 나타내었다.

## 3. 실험결과 및 고찰

### 3.1 절삭조건 변화에 따른 이송력과 토크의 변화 고찰

이송속도  $V_f$ 와 절삭속도  $V_c$ , 절삭액압력  $P$ 를 변화시키면서 토크(Torque)와 이송력(feed force)의 변화를 관찰하였다.

Fig. 5 ~ Fig. 8은 공작물 C45Pb를 1.67mm 지름의 드릴로 120mm 깊이의 구멍을 가공할 때 이송속도  $V_f$ 에 대한 이송력  $F_f$ 와 토크  $M_B$ 의 관계를 그래프에 도시하였다.

그림에서 보는바와 같이 이송력과 토크는 공히 이송속도

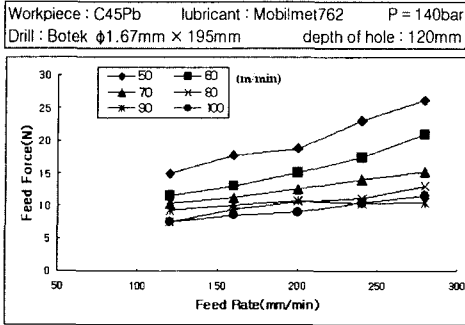


Fig. 5 Relationship between feed rate and feed force

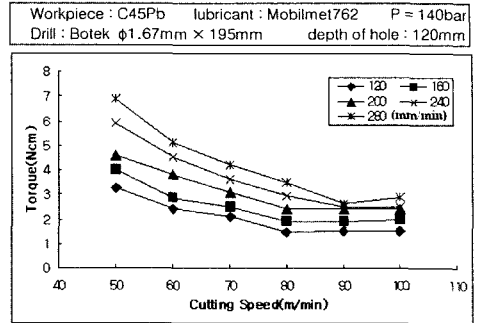


Fig. 8 Relationship between cutting speed and torque

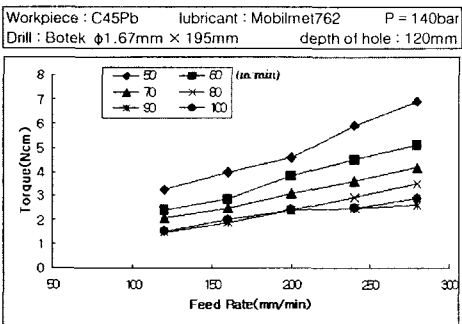


Fig. 6 Relationship between feed rate and torque

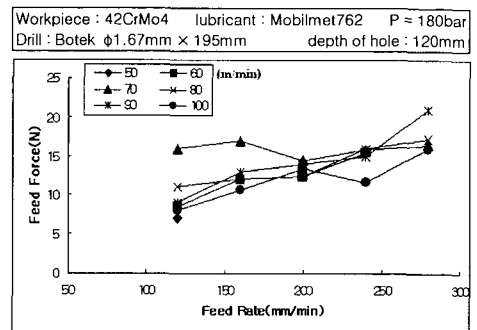


Fig. 9 Relationship between feed rate and feed force

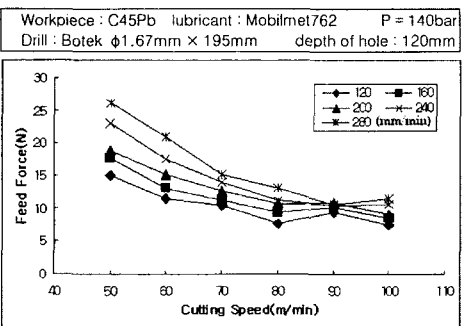


Fig. 7 Relationship between cutting speed and feed force

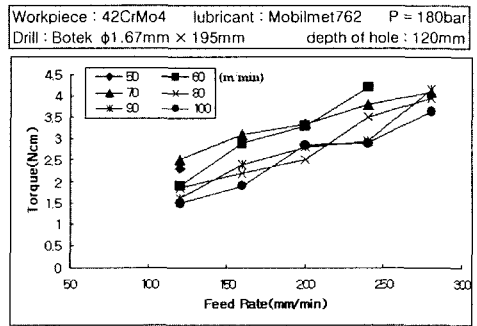


Fig. 10 Relationship between feed rate and torque

의 증가에 따라 거의 선형적으로 증가하는 경향을 나타내며 이송력의 경우 실험조건인 범위 내에서 약 40%, 토크의 경우 실험조건인 범위 내에서 약 50% 정도 증가하고 있다 (Fig. 5, Fig. 6).

절삭속도에 대한 이송력과 토크의 관계는 Fig. 7과 Fig. 8에 나타내었는데 이송속도가 클 경우 이송력은 본 실험의 범위 내에서 약 60% 감소되었으나, 이송속도가 작은 경우

는 45%정도 감소하였다. 토크는 이송속도가 클 경우 약 60% 감소하였으며, 이송속도가 작은 경우 약 25% 감소하였다.

C45Pb보다 난삭재인 42CrMo4의 심공 드릴링 실험은 절삭액 압력 P=180 bar에서 수행되었으며 같은 방법으로 관찰되었다. 이송속도의 증가에 따라 이송력과 토크는 선형적으로 증가하는 경향을 보이며, 이송력은 본 실험의 범위

에서 약 10 - 50% 증가하나 절삭속도 70m/min인 경우에는 거의 증가하지 않았다. 토크는 약 30 - 50% 증가하는 것이 관찰되었으며 이 결과를 Fig. 9와 Fig. 10에 나타내었다. 절삭속도의 변화에 따른 이송력은 대체로 일정한 값을 유지하고 있으나 절삭속도 70m/min인 경우는 이송력이 크게 나타나는 것이 관찰되었다. 절삭속도의 변화에 대한 토크의 관계는 이송속도별로 약 10% 정도의 감소 추세를 나타내

었다. 이 실험결과를 Fig. 11과 Fig. 12에 나타내었다. 공작물 42CrMo4를 사용하고 절삭액 압력이 P=220bar 일때 이송속도와 절삭속도를 변화시키면서 이송력과 토크를 측정하여 그래프에 나타내고 그 경향을 관찰하였다. 이송속도의 증가에 따라 이송력과 토크는 증가하는 경향을 보이고 있으며 절삭속도의 증가에 따라 이송력과 토크는 200m/min와 280m/min의 경우를 제외하고는 대체로 일정

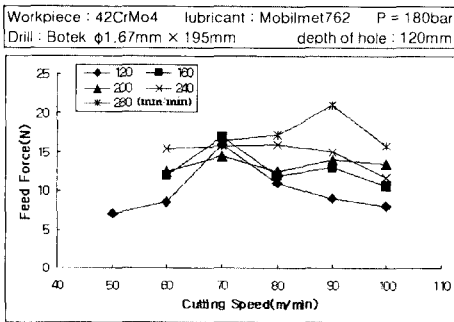


Fig. 11 Relationship between cutting speed and feed force

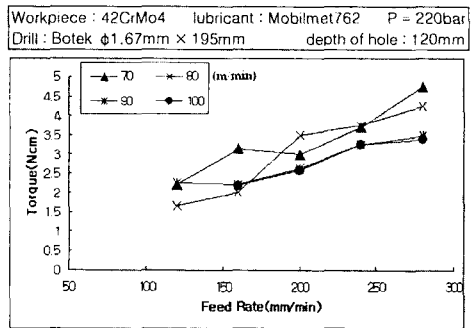


Fig. 14 Relationship between feed rate and torque

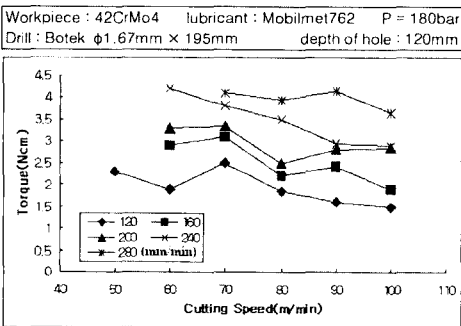


Fig. 12 Relationship between cutting speed and torque

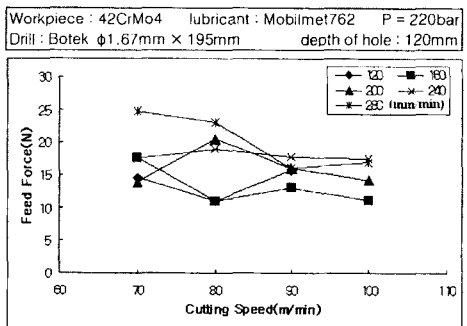


Fig. 15 Relationship between cutting speed and feed rate

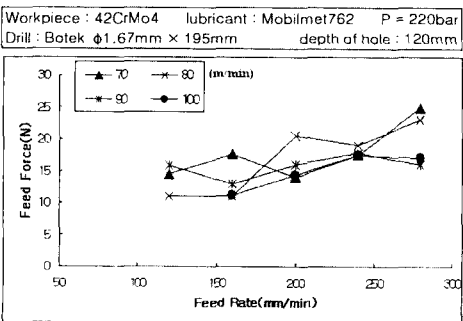


Fig. 13 Relationship between feed rate and feed force

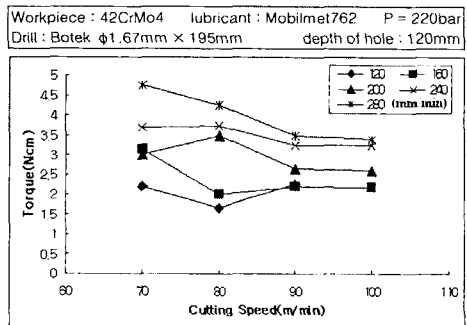


Fig. 16 Relationship between cutting speed and torque

한 값을 유지하고 있다.

42CrMo4 공작물의 경우 C45Pb4에서 보다 절삭조건 변화에 따라 일관된 경향을 보이지 않는다는 것을 확인하였다. 이것은 C45Pb4에 비하여 난삭재인 42CrMo4에 불균일한 조직이 존재하는 것에 기인한다고 판단된다. 또한 구멍 가공시 자주 칩에 의한 막힘 현상이 나타나 이송력과 모멘트에 돌발적인 상승을 초래하였다. Fig. 17에 42CrMo4의 구멍 가공 시 얻어진 이송력과 모멘트 신호를 나타내었다. 이 신호의 마지막 1/3 구간에서 peak들이 보이는데 이것은 칩에 의한 구멍막힘과 풀림이 반복적으로 발생하는 것을 보여주고 있다.

이 칩에 의한 구멍 막힘 현상은 공작기계의 축 방향 진동과 비틀림 진동의 원인이 되며 이 진동과 함께 절삭부위에 공급되는 절삭액의 압력상승이 동반된다. 칩이 쌓여 구멍이 막히게 되면 절삭액이 통과하는 채널의 단면적이 감소되고

궁극적으로 칩의 배출이 정지된다. 이것은 드릴링 작업 공정에 2가지의 부정적인 결과를 초래하게 된다. 하나는 불안정한 드릴작업을 초래하며 다른 하나는 공구에 초과 하중이 걸리게 되어 공구의 파손을 야기 시키게 된다.

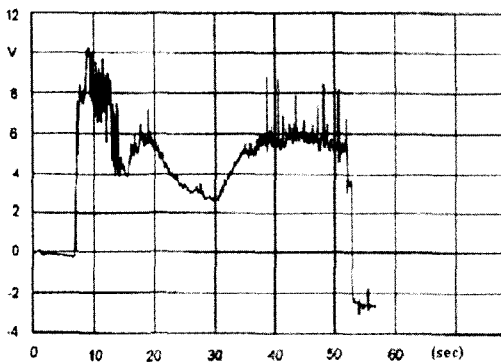
무엇보다도 비틀림 진동은 공작기계를 위험한 상태에 처하게 할 수 있으나 이때 공구단면의 회전 모멘트는 축방향의 이송저항 보다는 영향이 경미하다. 비틀림 진동을 통하여 드릴 공구 끝 날의 회전운동은 절삭속도의 증첩현상을 초래하게 된다. 즉 공작물에서는 상대속도가 음(negative)이 되는 상태가 나타나게 된다. 이러한 경우 공작물은 절삭이 되지 않을 뿐 만 아니라 소성변형도 일어나지 않는다. 특히 미소직경의 심공드릴링 공정에 대한 정적인 비틀림 연구에 의하면 칩에 의한 구멍막힘시 드릴공구가 270도까지 비틀린다는 보고가 있다[9].

그러나 비틀림 진동과는 반대로 축방향 진동은 구멍가공에 긍정적인 영향도 미친다는 것을 알 수 있다. 공구의 진동에 의하여 드릴 끝날 부근에서의 절삭중단 상태가 반복적으로 일어나며 이에 따라 길이가 짧은 칩들이 생산되게 된다.

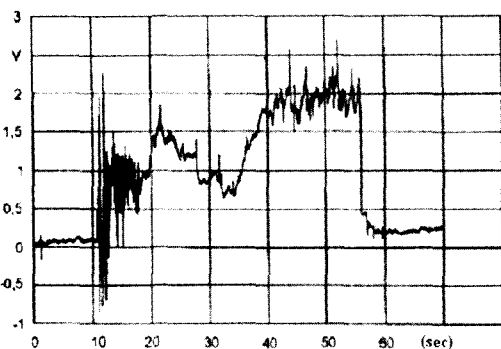
칩에 의한 구멍 막힘 현상은 절삭영역으로부터 발생한 칩이 드릴공구 외부의 채널을 따라 잘 빠져나가지 못하는데 기인한다. 그 원인을 살펴보면 공작물이 난삭재인 경우이거나 또는 절삭부에 절삭액이 충분히 공급되지 못한 경우를 들 수 있다. 특별한 경우 바람직하지 못한 칩의 형태가 발생하거나 긴 연속형 칩이 발생하게 되면 채널을 통하여 칩이 구멍 밖으로 빠져나가지 못하여 구멍이 막히게 된다. 칩 배출의 개선을 통하여 절삭능력의 향상을 도모할 수 있는데 칩이 배출되는 채널의 형상을 개선하는 것이 한 가지 방법이며, 절삭속도와 절삭액 공급압력의 상승을 통하여 가공 공정중에 나타나는 칩막힘 현상을 현저하게 줄일 수 있다. 절삭속도의 상승은 공구 회전당 이송을 감소시켜 칩의 길이가 짧아지게 되며 따라서 칩의 배출을 용이하게 해주며 나아가서 절삭력의 감소에 따라 공구에 작용하는 부하를 줄일 수 있게 되므로 드릴의 파손도 현저하게 감소시킬 수 있다.

### 3.2 칩 형태 연구

직경이 큰 single edge 드릴링과는 달리 직경이 작은 (1mm - 2mm) 드릴링의 문제점은 칩을 제거하기 위한 냉각 윤활재의 공급이다. 채널의 단면적이 작기 때문에 비틀림과 휨에 대한 불안정 뿐만 아니라, 연속형 칩의 발생으로 인한 구멍의 막힘 등은 공구의 파손을 야기 시킨다. 따라서 직경이 2mm 이상인 single edge 드릴링에 비하여 직경이



(a) Feed force



(b) Torque signal

Fig. 17 Typical signals of feed force and torque at deep hole drilling of 42CrMo4

2mm 이하인 single edge 드릴링은 100bar 이상이 높은 작동압력을 요한다.

single edge 드릴공구는 냉각 윤활액을 고압으로 공급하기 위하여 내면에 hollow형의 덕트가 있고 외면에는 칩을 안내하여 제거할 수 있도록 채널이 만들어져 있다. 냉각 윤활재 통과를 위한 덕트와 채널은 공구의 강성을 감소시킨다. 공구의 강성을 높이는 것은 냉각 윤활재의 공급을 보장하기 위한 넓은 단면의 덕트가 요구되는 것과 서로 상충된다. 2mm보다 직경이 큰 드릴 샤프트는 보통 강도가 높은 25CrMo4V의 압연된 비드에 sintered carbide 헤드가 접합되어 있는 반면 직경이 작은 single edge 드릴의 샤프트와 헤드는 sintered carbide로 되어 있고 재료에 따라 좀 더 취성이 강한 경우 공구파손의 위험이 더 커지게 된다. single edge 드릴링 공정의 신뢰성 있는 감시와 높은 공정의 건전성을 보장하기 위하여 드릴링 품질, 칩의 형태, 절삭력, 냉각 윤활재의 흐름, 절삭 파라미터 사이의 관계를 규명하기 위한 연구가 요구되고 있다.

절삭재료 C45Pb와 42CrMo4V에 대한 공정 파라미터의



Fig. 18 single edge drill tangled by helical type chip

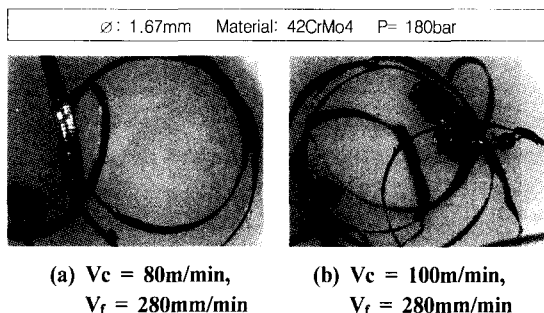


Fig. 19 Chip formation

최적화를 조사하기 위하여 칩의 형태에 대한 관찰이 수행되었으며 특히 시험은 리본형칩, 긴 헬리컬형 칩등 바람직하지 않은 칩의 발생을 억제하기 위하여 좁은 범위에서 절삭속도와 이송속도를 변화시켜서 수행되었다. 그러한 형태의 칩 발생은 구멍 내에서 칩이 공구에 엉켜서 공구의 강성을 초과하는 응력을 발생시킴으로써 결국에는 드릴의 파손을 초래한다. Fig. 18에 긴 연속형 칩이 발생하여 칩이 드릴공구에 엉킨 모습을 보여 준다.

다음은 직경이 1.67mm인 드릴공구로 42CrMo4를 드릴 작업하였을 때 발생하는 칩의 형태를 나타낸 사진이다. 이것을 Fig. 19과 Fig. 20에 나타내었으며 Fig. 19(a)와 (b)에서 보는바와 같이 헬리컬형의 연속형 칩이 발생하고 있으며 Fig. 20(a)는 절삭속도가 90mm/min일 때 구멍막힘 현상이

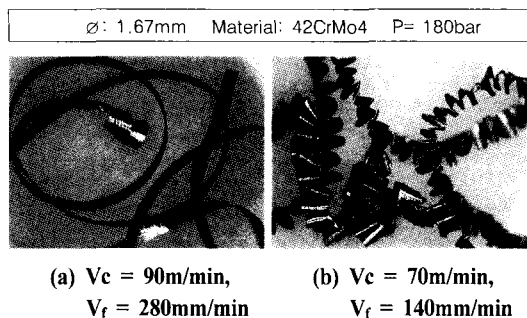


Fig. 20 Chip formation

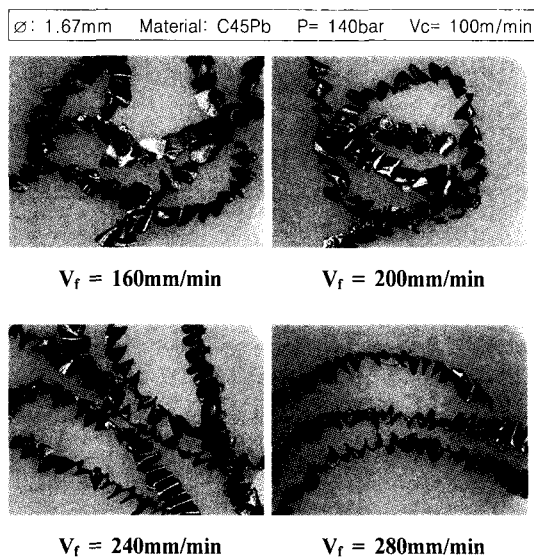


Fig. 21 Chip formation

나타났을 때의 칩이 형상이며 Fig. 20(b)는 절삭속도 70m/min에서 공구 파손이 발생하였을 때의 칩의 형상이다.

Fig. 21은 C45Pb를 절삭속도 100m/min, 절삭액 압력 14bar, 이송속도 100mm/min - 280mm/min의 범위에서 관찰된 칩의 형태이다. 모든 조건에서 그림과 같은 접힌 형태의 전단형 칩이 발생하였으며 비교적 안정된 절삭이 가능하였다.

#### 4. 결론

본 연구에서는 고정밀, 고능률이 요구되는 심공 드릴링 공정에서 2mm 이하인 미소직경의 single edge형 드릴을 사용한 난삭재의 심공드릴링 가공특성을 규명하고자 실험을 수행하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 이송속도 120mm/min - 280mm/min로 Cb45Pb와 42CrMo4의 심공드릴링 가공을 하였을 때 이송속도의 증가에 따라 이송력과 토크는 선형적으로 증가한다.
- (2) 절삭속도 50m/min - 100m/min에서 Cb45Pb를 가공하였을 때 절삭속도의 증가에 따라 이송력과 토크는 균일하게 감소하는 경향을 나타내었으나 42CrMo4에서는 불규칙한 감소 현상을 보였다.
- (3) 리본형이나 긴 헬리컬형의 칩이 발생하는 경우 드릴 파손 또는 공정의 불안정을 초래하는 구멍막힘 현상이 자주 발생하였으나, 접힌 전단형의 칩이 발생하는 경우 비교적 안정된 공정이 가능하였다.

#### 후 기

본 연구는 2001년도 한국과학재단의 국제공동 연구비 지원에 의하여 연구되었음(KOSEF 20015-304-02-02).

#### 참 고 문 헌

- (1) Cheraghi, S. H., and Everson C. E., 1999, "The Application of Acoustic Emission for Precision Drilling Process Monitoring", *Int. J. of Machine Tools & Manufacture*, Vol. 39, No. 3, pp. 371~387.
- (2) Koenig, W., Kutzner, K., and Schehl, U., 1992, "Tool Monitoring of Small Drills with Acoustic Emission", *Int. J. of Machine Tools & Manufacture*, Vol. 32, No. 4, pp. 487~493.
- (3) Donfeld, D. A., Koenig, W., and Kettler, G., 1993, "Aktueller Stand von Werkzeug und Prozessüberwachung bei der Zerspanung", *VDI BERICHTE*, Nr. 988, pp. 363~376.
- (4) Katsuki, A., Onikura, H., Sakuma, K., Chen, T., and Murakami, Y., 1992, "The Influence of Workpiece Geometry on Axial Hole Deviation in Deep Hole Drilling", *JSME International*, Series III, Vol. 35, No. 1, pp. 160~167.
- (5) Heisel, U., 1995, *Grundlagen der Werkzeugmaschinen*, Teil I. University of Stuttgart, Vorlesungsmanuskript des Instituts für Werkzeugmaschinen.
- (6) Lee, W. Y., Choi, S. J., Namkung, S., and Kim, H. C., 1996, "A Study on the experimental Analysis of drilling operation for CFRP composite materials", *Proc. of pacific Conference on manufacturing*, pp. 18~23.
- (7) Eichler, R., 1996, *Prozeßsicherheit beim Enlippenbohren mit kleinsten Durchmesserern*, Dissertation University of Stuttgart.
- (8) Heisel, U., 1993, "Eichler, R.: Prozess-Integrity of Deep-Hole Drilling for Small Diameters", *Annals of the German Academic Society for Production Engineering*, Vol. 1, Nr. 1, pp. 13~16.
- (9) Stein, J., and Dornfeld, D., 1997, "Burr Formation in Drilling Miniature Holes", *Annals of CIRP*, Vol. 36, No. 1, pp. 63~66.
- (10) Link, R., 1992, *Gratbildung und Strategien zur Gratreduzierung bei der Zerspanung mit geometrisch bestimmter Schneide*, Dissertation of RWTH-Aachen.
- (11) Enderle, K. D., 1994, *Reduzierung des Mittenverlaufs beim Einlippen-Tiefbohren durch Kuhlmittelpulsation*, Dissertation of University of Stuttgart.