

◎ 論 文

싱글튜브시스템 BTA공구에 의한 박용부품소재의 CNC 심공가공 특성에 관한 연구

전 태 옥* · 전 언 찬* · 심 성 보** · 장 성 규***

(1994년 4월 13일 접수)

A Study on the Characteristics of CNC Deep Hole Machining for Marine Part Materials with the Single Tube System BTA Tools

Tae-Ok Jun* · Eun-Chan Jun* · Sung-Bo Sim** · Sung-Gyu Jang***

Key Words : Lobe(다각형의 각부), Chip curling(칩컬링), Burnishing(버어니싱), Roundness(진원도), Guide pad(안내패드)

Abstract

The BTA(boring and trepanning association) deep hole machining has an increasing demands because of its wide applications and its good productivity.

The main feature of the BTA tools is that the tool cutting edges are unsymmetrically located on the boring head. This provides a stabilizing cutting force resultant necessary for self guidance of the boring head. The BTA tools are capable of machining for having a large length to diameter ratio in single pass.

A study of the accuracy and surface finish of holes produced would reveal quite useful information regarding the process. This study deals with the experimental results obtained during BTA machining on SM55C, SM45C steel under different machining conditions.

1. 서 론

박용기계부품 중 심공가공(deep hole drilling)을 필요로 하는 부분은 실린더 블럭을 비롯하여 베어링 부분, 커플링 부분, 박용 열교환기의 튜브

시트 등 많은 것으로 알려지고 있다. 이들의 가공을 위해서는 효과적인 공구의 선택이 필요하고 이에 대한 연구를 필요로 하고있다.

본 연구에서 사용한 BTA(boring and trepanning association)공구는 구멍깊이와 직경의 비(L/D)가 5이상인 경우에 고도의 생산성을 가진다.

* 동아대학교

** 부산공업대학교

*** 한국 AB System

가공방법은 고압력의 절삭유를 공급할 수 있는 BTA 공구를 CNC 심공가공기계에 장착하여 본공구와 공작물의 재질에 해당되는 절삭조건에 맞추어 실행하였다. 절삭조건에 따른 공작물의 상태변화 즉 가공구멍의 직경, 표면조도, 진원도 변화 상태를 관찰하고 이에 따른 공구의 마멸을 연구 하였다.

2. 이론적 고찰

2-1 가공구멍의 확대량 및 가이드 패드의 영향

본 연구에서 싱글 튜브 시스템 BTA 공구에 의한 구멍의 확대 원인은 공구의 진동과 절삭력에 의한 공구 센터의 이동 등이 원인이 되며 이것을 guide pad가 안정화시키면서 미소량의 소성 변형을 guide pad가 작용하여 발생시킨다. 즉 burnishing 현상을 가공표면에 일으켜서 표면조도를 양호하게 함은 물론 공작물의 조직을 미세하게 한다고 사료된다. 이때 공구의 중심 이동과 guide

pad로 인한 burnishing 효과를 다음과 같이 정립할 수 있다.⁹⁾

Fig. 1과 같이 제 1 guide pad 부위의 접촉면을 각각 1₁, 1₂라고 하고 공구의 원주 방향의 guide pad폭 W와 접촉하는 면적을 A_G라고 하면

$$A_G = (1_1 + 1_2)W \dots\dots\dots (1)$$

이 되고 또 피삭재의 경도를 H_B, 수직하중 F_R과 A_G는

$$A_G \approx F_R / H_B \dots\dots\dots (2)$$

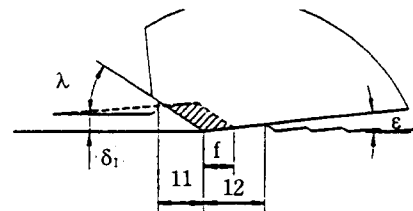
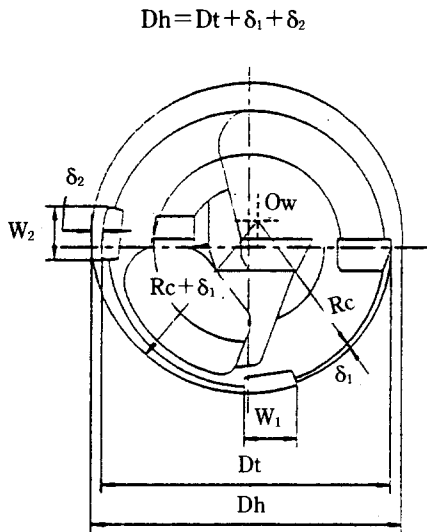
의 관계가 근사적으로 성립한다. 따라서

$$1_1 + 1_2 = F_R / (H_B \cdot W) \dots\dots\dots (3)$$

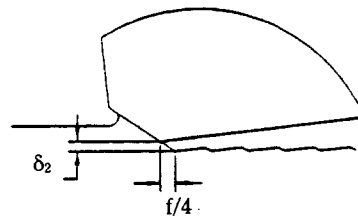
가 된다. 윗식에서

$$\frac{\delta_1}{\tan \delta_G} + Cf = \frac{F_R}{H_B W} \dots\dots\dots (4)$$

이고, FR은 제 1 guide pad에 걸리는 수직하중 이고 F_C(=k_sf $\frac{D}{2}$)는 절삭주분력이다.



(a) Plastic deformation near the first guide pad



(b) Plastic deformation near the second guide pad

Fig. 1 Hole over size system

따라서

$$\delta_1 = \left(\frac{K_s D}{2H_B W} - C \right) f \tan \lambda_G \dots\dots\dots (5)$$

가 되고 $D=20\text{mm}$, $f=0.1\text{mm/rev}$, $c=2$, $K_s=300\text{ kg/mm}^2$, $H_B=200\text{kg/mm}^2$, $W=4\text{mm}$, $\lambda_G=10^\circ$ 이면 $\delta=0.04\text{mm}$ 가 된다.

제 1 guide pad로 형성된 경사면에 대하여 제 2 guide pad는 90° 의 위상차를 갖게 되므로 $\frac{f}{4}$ 만큼 침투한 후 $\delta_2 = \frac{f}{4} \tan \lambda_G$ 만큼 틈새를 유지하게 된다.

따라서 구멍 확대량은

$$\begin{aligned} \Delta D &= \delta_1 + \delta_2 \\ &= \left(\frac{kD}{2H_B W} - C \right) f \tan \lambda_G + \frac{f}{4} \tan \lambda_G \\ &= \left(\frac{kD}{2H_B W} - C + \frac{1}{4} \right) f \tan \lambda_G \dots\dots (6) \end{aligned}$$

이 된다. 또한 Griffiths and Grieve의 이론⁵⁾에 의하면 Fig. 2에서 f (feed rate)로 하여 cut surface로부터 guide pad에 의해서 일어나는 burnished surface에 이르기 까지 소성 변형을 살펴 볼 수 있다. 칩적불변의 법칙에 의해서 BTA drill head 진행에 따라 소성변형을 받는 면적은 Area(DEFG)가 된다. plastic flow 는 전방향과 후방향으로 일어나는데 전방향으로 유동되는 면적은 Area(EHIJ)가 되고 후방향으로 유동되는 면적은 Area(KLGM)이 된다.

따라서

$$\begin{aligned} \text{Area}(DEFG) &= \text{Area}(EHIJ) + \text{Area}(KLGM) \\ &\approx f\delta \dots\dots\dots (7) \end{aligned}$$

이 성립된다.

Weber에 의하면 이때 소성변형에 소요되는 힘은 drilling torque(T_D)의 35%가 되는데 pad sur-

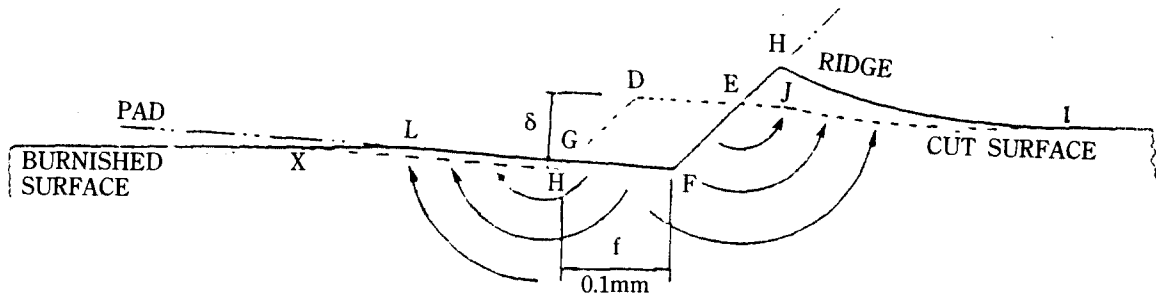


Fig. 2 Schematic representation of deformation cycle with guide pad

face에서의 마찰에 의해 에너지가 소모 되므로 Weber는 T_D 의 15%, Griffiths는 24%로 잡고 있으나 그 중간치인 20%로 근사적으로 잡아서 burnishing torque(T_B)로 잡으면 $T_B=0.2T_D$ 가 된다.⁵⁾

단, 여기서 drilling toque는 twist drill과 유사하게 전개 되므로 생략 하기로 한다.

specific burnishing pressure (K_B)를 여기서 유도하면

$$\begin{aligned} K_B \cdot A_B \cdot (D/2) &= T_B \\ K_B \cdot f \cdot \delta \cdot D/2 &= T_B \end{aligned}$$

$$K_B = 2T_B / D f \delta \dots\dots\dots (8)$$

단, A_B : area of burnishing이 된다.

2-2 칩 컬링(chip curling)

chip curling 현상에 대한 이론적 배경을 약술 하면 Fig. 3에서 chip breaker의 shoulder D점으로부터 반력 P를 받아 유출하는 칩은 B에서 공구 경사면에 떨어져 나가면서 소성변형을 받아 곡률을 증가시키게 되며, 밴딩 모멘트는 B점에서 부터

점차 줄어들게 된다. 이 때 chip breaker에서 작용하는 힘 P의 크기에는 관계 없이 curling 되는 칩은 영역 ABC내에서 만들어 진다. 칩이 D점을 지난 후에 공작물이나 공구에 닿아 외력을 받을 때는 중간에 큰 벤딩 모멘트를 받아 소성변형 없

이 파단을 일으키나 이것은 칩 생성 후의 문제로 서 고려 사항이 되지 않지만 본 연구는 심공가공 이기 때문에 칩이 빠른 속도 배출되어야 하므로 D점의 위치를 잘 설정하여 칩의 파단이 쉽게 일어나도록 해야 된다고 사료된다.

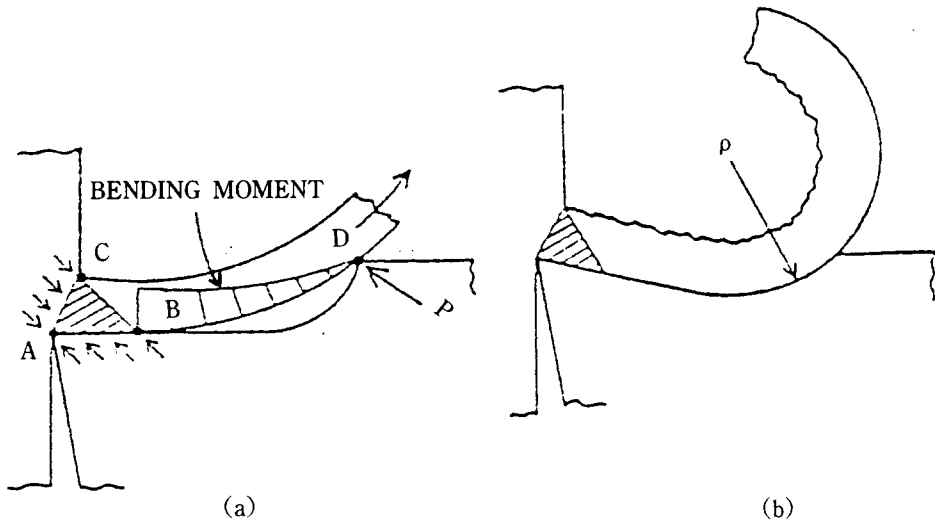


Fig. 3 Showing the chip curling status.

2-3 공구의 마멸 체적

본 연구에서 마멸 체적은 上原의 식¹¹⁾을 인용하여 추정하고자 한다.

$$V = q_1 \cdot q_2 \cdot \mu \cdot A \cdot v \dots\dots\dots (9)$$

$$\text{단, } q_1 = \frac{Nlb}{Lb} = \frac{Nl}{L}$$

- N : 길이 L의 칩에 있어서 구성인선의 탈락회수
- l : 공구와 칩의 접촉길이
- b : 절삭폭
- q₂ : 절인의(초경재료칩) 마멸분의 검출률
- μ : 1회의 주사 시야에서 단위 면적당 마멸분의 평균 입자수
- A : 절삭칩 면적
- v : 절인마멸분의 최소구성단위의 평균 체적

2-4 구멍의 진직도

심공가공에서 구멍의 진직도에 미치는 인자는 기계의 가공법, 가공조건, 어라인먼트(alignment), 보링바(boring bar) 자중, 크(shank)의 강성, 원심력, 공구헤드의 절인안내부의 배치, 절인의 형상, 공구헤드 안내부의 형상, 공구마멸, 공작물 자체의 재질상의 불균일성, 공작물의 경사 등으로 열거할 수 있다.

여기서 공구의 휨(deflection)을 생각하면, 길이 L_T의 공구의 자유단에 하중 p가 작용하면 휨량 δ가 발생한다. 마찬가지로 길이 L_{T0}의 공구에 하중 p₀가 작용하여 휨량 δ₀를 발생한다고 하면 δ와 δ₀ 사이에는 다음과 같은 관계가 성립한다.¹⁰⁾

$$\frac{\delta}{\delta_0} = \left(\frac{pL_T^3}{3EI} \right) / \left(\frac{p_0L_{T0}^3}{3EI} \right)$$

$$= \frac{p}{p_0} \left(\frac{L_T}{L_{T_0}} \right)^3 \dots\dots\dots (10)$$

이 때 E는 종탄성계수이고, I는 단면 2차 모멘트이다.

공구 길이가 달라도 공구 선단의 p를 $p=p_0$ 라고 가정하면 $\frac{\delta}{\delta_0} = \left(\frac{L_T}{L_{T_0}} \right)^3$ 의 관계가 되고,

$\delta=\delta_0$ 이면 $\frac{p}{p_0} = \left(\frac{L_T}{L_{T_0}} \right)^3$ 의 관계가 성립한다.

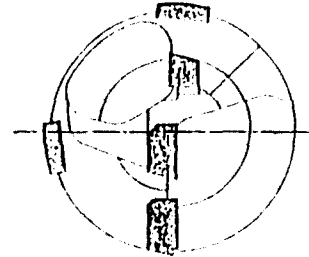
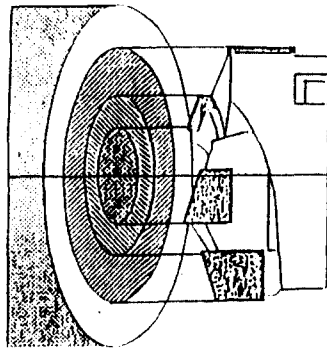
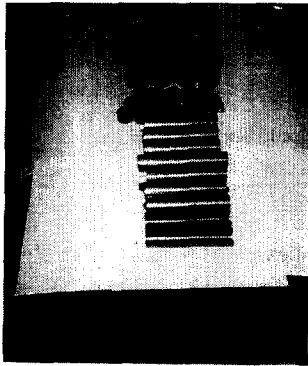
따라서 δ 는 하중과 공구의 길이에 크게 영향을 받음을 알 수 있다.

3. 실험장치 및 실험 방법

3-1 시험편 및 공구

본 실험에 사용된 시험편은 기계구조용 탄소강 SM55C와 SM45C를 사용하였다. 실험에 사용된 시험편의 치수는 SM55C일 경우에는 $\phi 30 \times 90$ 이고 SM45C일 경우에는 $\phi 40 \times 200$, $\phi 50 \times 60$ 등을 사용하여 중심 방향으로 드릴가공 하였다.

실험에 사용된 공구는 Fig. 4의 시스템을 활용하고 형상과 치수는 Fig. 5와 같고, 공구의 재질은 SM55C일 경우에는 P20, SM45C일 경우에는 P70을 채택하였고, BTA공구의 직경은 SM55C일 경우 $\phi 17.1$, $\phi 18.1$ 로 하였으며 SM45C일 경우에는 $\phi 19.25$ 를 선택 하였다.



workpiece & tool head

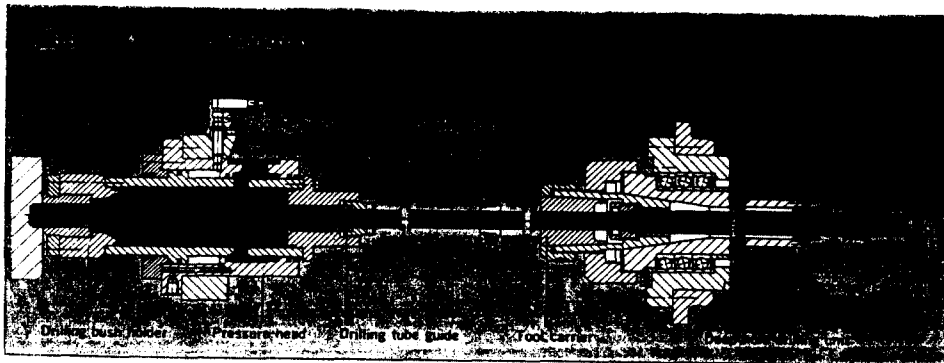


Fig. 4 Single tube system BTA drilling status

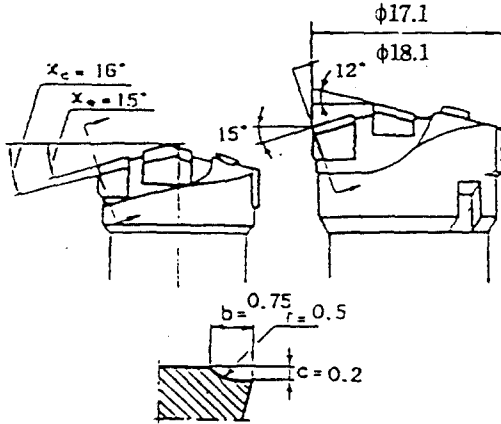


Fig. 5 Shape and dimensions of tool head

3-2 실험장치 및 실험방법

본 실험에 사용된 실험 장치는 CNC deep hole machine(Model : STGA2-450 CNC, STGB-1500 CNC Shin il machine Co., Ltd)을 사용하였으며 Fig. 6은 STGB-1500을 나타낸 것이다.

절삭실험은 Fig. 4와 같은 tooling system으로 collet holder에 튜브를 고정시키고 그 선단에 공구를 장착시켰다. 절삭유는 pressure head를 통하여 공구의 외측에서 공급할 수 있도록 하였으며, 공구의 내부로 칩이 배출되도록 하였다. 절삭 방식은 공구회전, 공구이송방식을 채택하였으며, 또한 축을 회전시켜 절삭 가공을 할 수 있도록 하고 drilling bush와 축사이에 요구되는 alignment를 ± 0.025mm 이내로 맞추어 φ17.1, φ18.1 심공가공에서는 V=58, 70, 80m/min, 이송속도를 f=0.1, 0.15, 0.2mm/rev로 변화시키면서 심공가공 하였다. 또한 φ19.25 가공에서는 V=52.8, 58, 65, 71, 74, 81 m/min 등으로 하고 f=0.15, 0.16, 0.17, 0.18, 0.19, 0.137, 0.147, 0.155, 0.174, 0.132, 0.141, 0.149, 0.158, 0.167 mm/rev의 절삭조건을 주어서 가공하였다.

본 실험에 사용된 절삭유는 비수용성 유화 염소화유(KS2종13호)로서 심공가공 전용 절삭유인 Yushiron Cut Ds-50N(φ17.1, φ18.1)과 SanPol S-CUT7E(φ19.25)를 사용하였다. 이 절삭유는 심공가공기에 장착된 가변형 펌프를 통하여 25kg/cm²



Fig. 6 Experimental apparatus

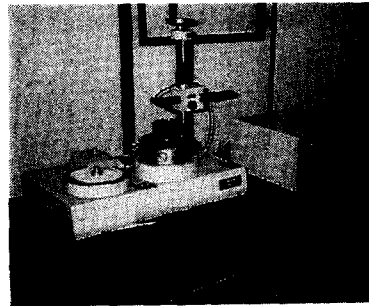


Fig. 7 Roundness tester

위에 놓고 클램핑(clamping)하여 드릴링 부시에 밀착시켜 절삭유의 비산을 방지 하였다. 본 실험에서 BTA드릴의 경우 절삭속도 V=60~110m/min 이송속도 f=0.1~0.2mm/rev로 추천하고 있으나 초기에 공구가 절삭작업 시작점에서 이송속도 및 초기 공구의 자리 잡음에서 진동에 의한 파손등을 방지하기 위하여 드릴링 부시에 공구의 가이드 패드(guide pad)가 가공구멍에 완전히 진입한 후 정상작업을 할 수 있도록 절삭조건을 실험 절삭속도의 1/2로 하고 출발점에서 5~10mm 까지 전진시키도록 프로그램을 작성하여 실험을 실시 하였으며 그 예는 다음과 같다.

PROGRAM EXAMPLE

```
N10 G 92 X0. Y0. Z0. ;
N20 G186 X0. Y0. Z0. B-5. K-60 D-0.2
F161 S1072 T1 ;
```

4. 실험 결과 및 고찰

4-1 구멍 확대량

Fig. 8에서 실선은 식(6)에 의한 이론값이고 점들은 피드(feed)값에 따른 실험치이다. 근사적으로 실험치와 이론치가 일치하고 있음을 말해 주고 있으며, 가급적 피드량을 작게 함이 구멍의 확대를 막을 수 있음을 보여 주고 있다. 물론 본 논문에서는 guide pad의 영향도 무시할 수 없으나 피드량이 적으면 더욱 burnishing 효과를 증대시키게 됨을 생각해야 한다고 본다.

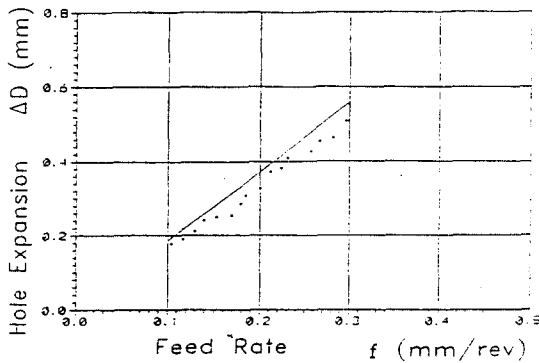


Fig. 8 Feed rate and hole expansion (SM45C, ϕ 19.25, $v=52.8$ m/min)

4-2 표면조도의 변화

가공면 조도는 일반적으로 강일 경우에는 9~25s 정도이며 주철이나 알루미늄일 경우에는 12.5s 정도이다. 그리고 가공 정밀도는 공구메이커나 장비의 정도에 따라서 다소 차이가 있지만 통상 IT7~8급 정도이며 대체적으로 리머(reamer) 등과 같은 2차 가공은 필요하지 않는다.

본 실험을 통하여 측정된 표면 거칠기는 대략적으로 12s(R_{max})이하로 나타났으며 일부 구간에서는 20s가 나타나는 경우도 있지만 극히 제한적이다.

Fig. 9에서 $\phi 17.1$, $V=58$ m/min, $f=0.15$ mm/rev

에서는 5s이하로 표면조도가 상당히 양호하게 나타났다.

그리고 $V=70$ m/min, $f=0.15$ mm/rev에서는 가공초기에는 9s, 10m 구간에서는 11.5s, 20m 구간에서는 7s이하로 나타났다.

$f=0.1$ mm/rev에서는 5s이하로 나타났고, Fig. 10과 같이 $\phi 18.1$, $V=58$ m/min, $f=0.15$ mm/rev 조건에서는 초기구간에서는 3.6~10.1s, 10m 구간에서는 6.6~11s, 20m 구간에서는 4.8~9.9s의 현상을 보였다. 전체적으로 12s이하의 표면 조도를 나타내었다.

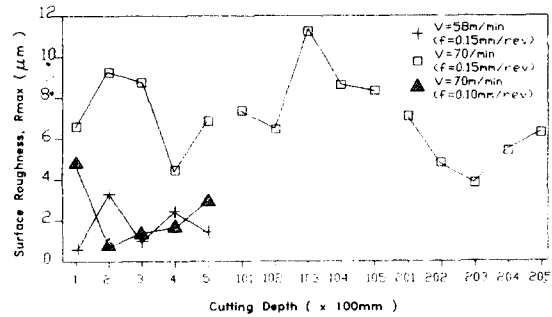


Fig. 9 Relation between surface roughness and cutting depth with the BTA tools($\phi 17.1$)

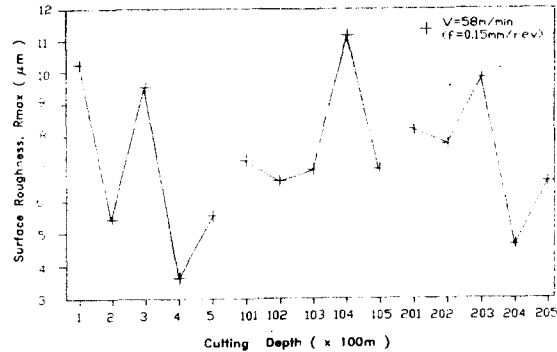


Fig. 10 Relation between surface roughness and cutting depth with the BTA tools($\phi 18.1$)

Fig. 11에서는 $\phi 18.1$, $V=70$ m/min, $f=0.15$ mm/rev 조건에서 표면조도를 측정된 것이다. 이때 초기구간에서는 3.3~11.5s, 10m 구간에서는 3.6~

10.6s, 20m 구간에서는 4.5가12s로 나타났다.

그리고 $V=80\text{m/min}$, $f=0.15\text{mm/rev}$ 조건에서는 초기구간에서 1.6~5.4s로 전구간에 걸쳐서 표면조도는 다소 불안정하게 나타나고 있지만 가공 정밀도는 실용상 문제가 되지 않는다고 사료된다.

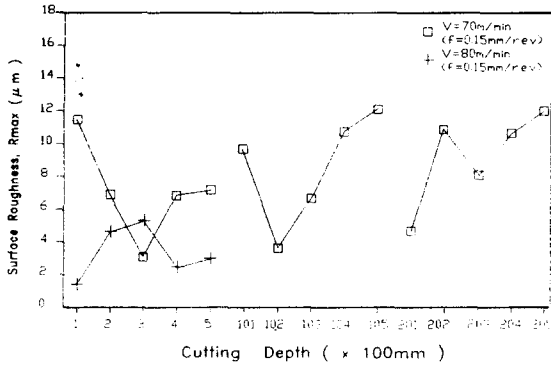


Fig. 11 Relation between surface roughness and cutting depth with the BTA tools(φ18.1)

4-3 진원도 및 진직도

BTA 심공가공에서 L/D의 비가 큰 경우 가공 중에 공구의 진동과 앞에서 논한 여러가지 영향으로 인하여 가공 구멍이 다각형 형상 즉 로브(lobe)가 발생한다. Fig. 12에서 진원도의 분포는 초기 20mm지점에서 17μm으로 나타나고 있으나 대개 12μm이하의 현상을 보였다.

이러한 현상은 초기는 드릴링 부시에 의하여 안내되어 안정된 진원도를 나타내고 있지만, 가공 깊이가 깊어짐에 따라서 가이드패드의 마멸과 더불어 가공면을 burnishing 하므로써 공구에 무리한 힘이 걸리게 되고 공구의 반경 방향의 진동이 크게 되어 일어나는 것으로 사료된다. 그리고 일반적으로 가공초기 부터 절삭조건에 관계 없이 로브가 3개인 3각형 형상이 지속된다.

그리고 간혹 진동에 의한 로브가 2개인 타원 현상, 경우에 따라서는 4~5개의 로브도 발생함을 알 수 있다. 이러한 현상은 공구의 크래프, 튜브 및 공구 상태에 따라서 일어나는 결과라고 고찰

되어 진다. 이때 가장 안정된 조건은 Fig. 13과 같이 $V=70\text{m/min}$, $f=0.15\text{mm/rev}$ 로서 20mm 지점, 70mm지점 모두다 5μm 범위에 포함되어 있다.

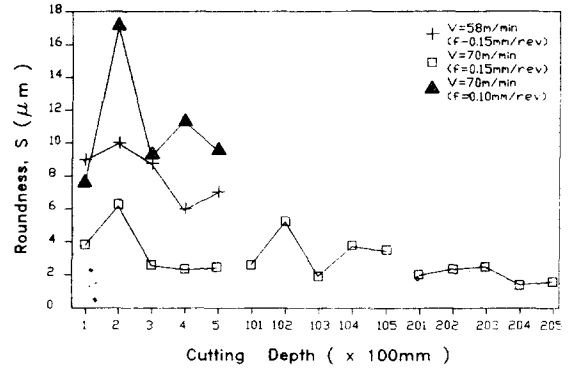


Fig. 12 Relation between roundness and cutting depth with BTA tools (φ17.1)

Fig. 14의 φ17.1, $V=58\text{m/min}$, $f=0.15\text{mm/rev}$ 의 절삭조건에서는 초기구간은 1~3μm, 10m 구간에서는 2~3μm, 20m 구간에서는 2~7μm로 전구간에 걸쳐서 진원도는 양호하게 나타나고 $f=0.2\text{mm/rev}$ 의 조건에서는 초기 구간 5~13μm, 10mm구간 2~5μm로 전 구간 양호 현상을 보이고 있다. 그리고 이송 속도에 관계없이 3 로브의 3각형 현상이 지속되고 있음이 관찰되었다.

Fig. 15에서는 φ18.1, $V=70\text{m/min}$, $f=0.15\text{mm/rev}$ 의 절삭 조건에서는 20mm 지점에서는 2.2~3.9μm, 70mm 지점에서는 1.5~6μm, 10m 구간에서는 2.6~4.5μm, 2.4~9μm, 20m 구간에서는 3.7~11.1μm, 2.4~10.9μm의 양호한 진원도를 보이고 있다.

또한 $V=80\text{m/min}$, $f=0.15\text{mm/rev}$ 의 절삭 조건에서는 초기구간 20mm 지점에서 2.5~15μm, 70mm 지점에서 1.2~12μm을 보이고 있다. 진원도의 큰 변화를 보이는 지점은 공구의 진동진폭의 증대에 기인한 것으로 사료된다.

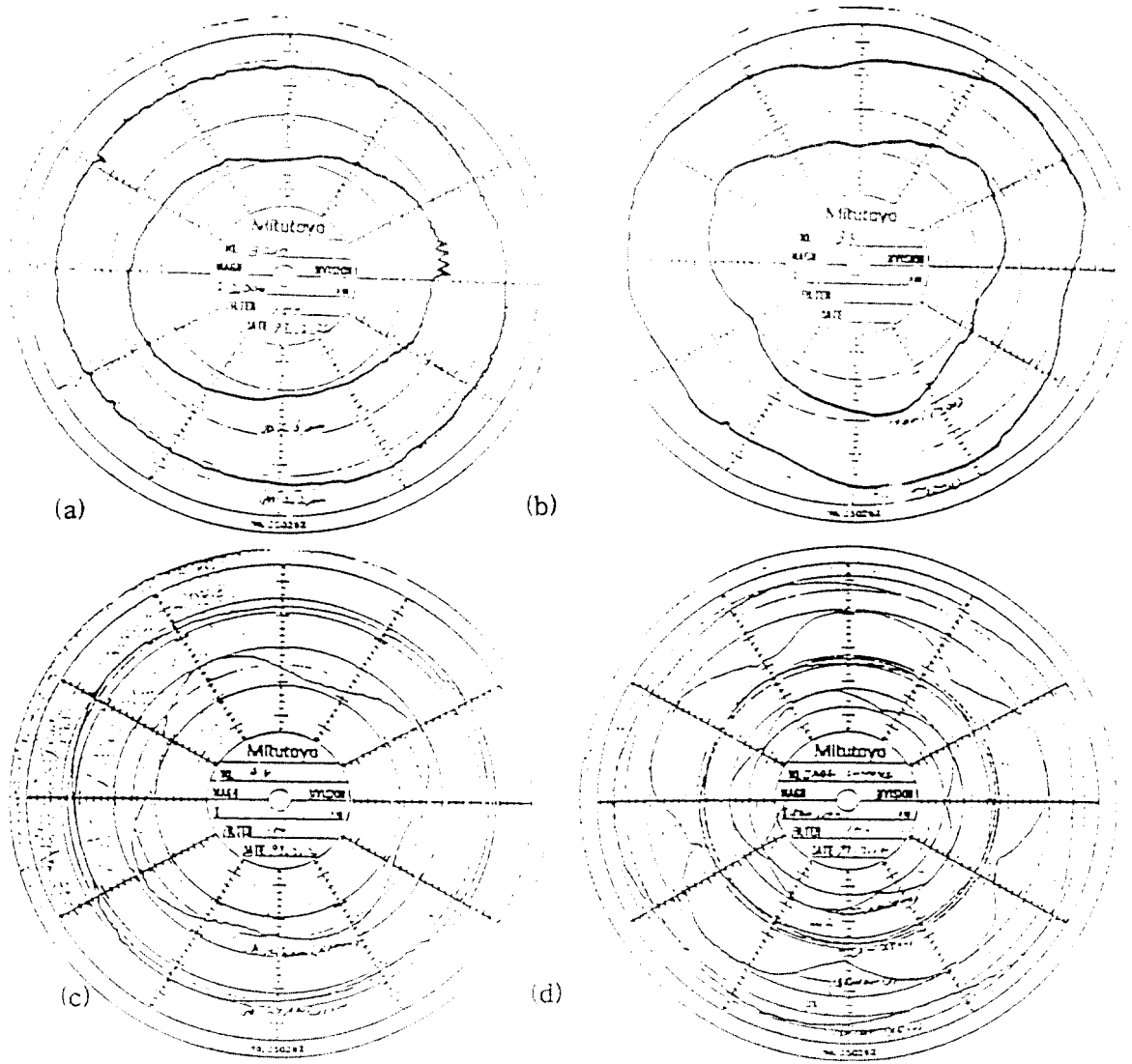


Fig. 13 Roundness profiles of BTA machined hole

- (a) $\phi 17.1$ $V = 70\text{m/min}$ $f = 0.15\text{mm/rev}$
- (b) $\phi 17.1$ $V = 70\text{m/min}$ $f = 0.1\text{mm/rev}$
- (c) $\phi 18.1$ $V = 80\text{m/min}$ $f = 0.15\text{mm/rev}$
- (d) $\phi 17.1$ $V = 70\text{m/min}$ $f = 0.1\text{mm/rev}$

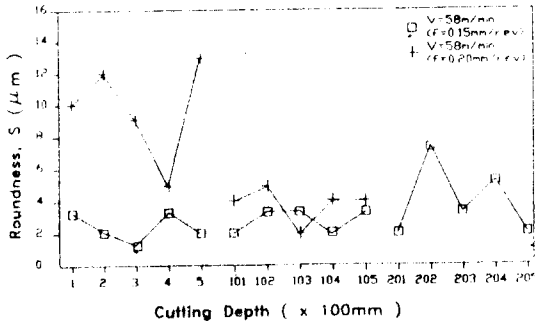


Fig. 14 Relation between roundness and cutting depth with BTA tools ($\phi 17.1$)

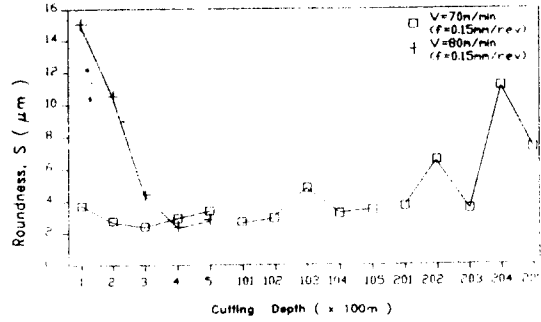


Fig. 15 Relation between roundness and cutting depth with BTA tools ($\phi 18.1$)

Fig. 16은 $\phi 19.25 \times 117$ 구멍을 3차원 측정기로 측정하여 진직도(coaxis)를 확인하여 본 것이다. 진직도 $33.7\mu\text{m}$ 는 가공 길이에 비하여 양호한 결과로 생각되나 공구에 작용하는 힘을 공구와의

연구와 절삭유 개선, 칩의 원활한 배출을 통해서 감소시켜 공구의 힘을 방지하므로써 진직도를 높일 수 있다고 사료된다.

CYLINDRICITY	$36.3\mu\text{m}$
COAXIS	$33.7\mu\text{m}$
AVE. ROUNDNESS	$9.9\mu\text{m}$
DEVIATION R	$8.4\mu\text{m}$
DEVIATION D	$16.8\mu\text{m}$
DECISION	

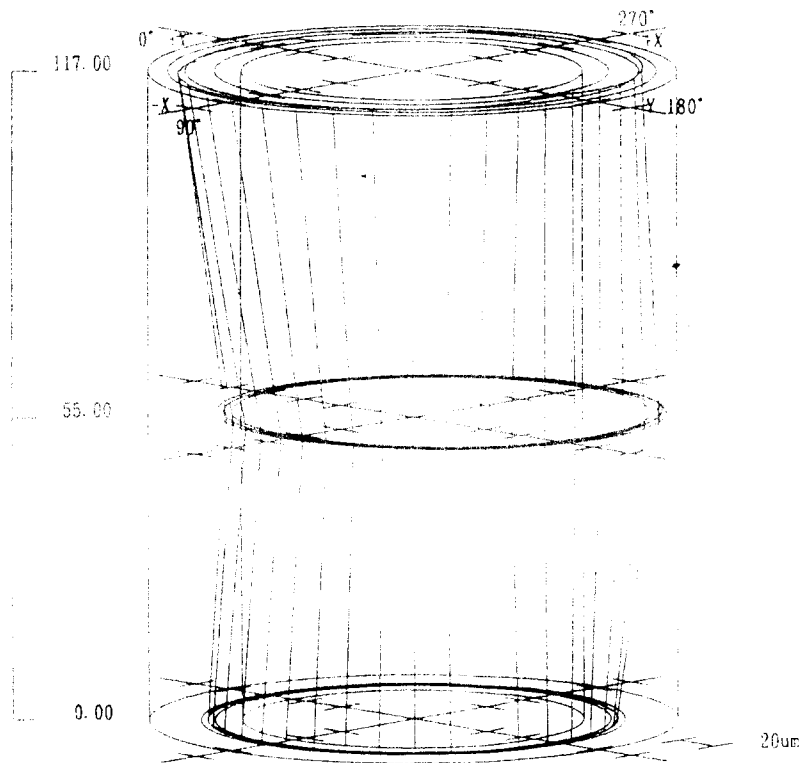


Fig. 16 Straightness of BTA hole. ($\phi 19.25$, $V = 64.79\text{m/min}$, $f = 0.15\text{mm/rev}$)

4-4 가공면의 상태와 칩 컬링

Fig. 17에서 화살표 부분이 burnished surface이다. 절인의 측면에 의한 절삭이 진행된 다음 guide pad에 의한 소성변형의 흔적이 뚜렷이 나타남을 알 수 있다.

Fig. 18은 구멍의 절인이 닿는 부분을 확대 촬영한 것인데 절인별로 칩의 형상이 conical type으로 나타나고 있다. 이것은 Fig. 19에서의 단면

상에도 나타난 바와 같이 공구의 절인이 경사되어 있으므로써 일어나는 결과이다.

2-2에서 칩이 빠른 속도로 배출되고 가급적 파단을 쉽게 일으키게 함이 문제가 된다고 하였는데 본 실험에서는 BTA $\phi 19.25$ 공구에서 1600 rpm의 회전 이하에서 바람직한 현상이 보였고 25 kg/cm²의 절삭 압력으로 인하여 냉각 윤활작용과 함께 쉽게 튜브를 통하여 칩이 배출되었으므로 심공 가공에서 BTA 공구 시스템의 능률을 확인할 수 있었다.

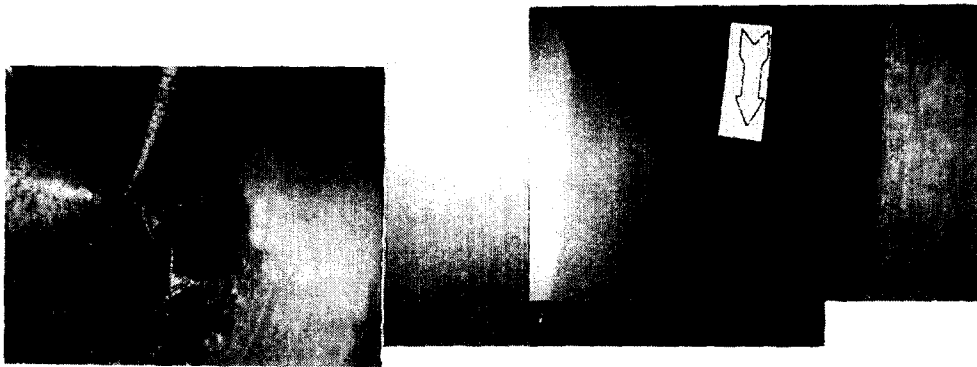


Fig. 17 Profile of machined hole end surface with BTA tool($\phi 19.25$, $V=65\text{m}^{\cdot}\text{min}$, $f=0.16\text{ mm/rev}$)

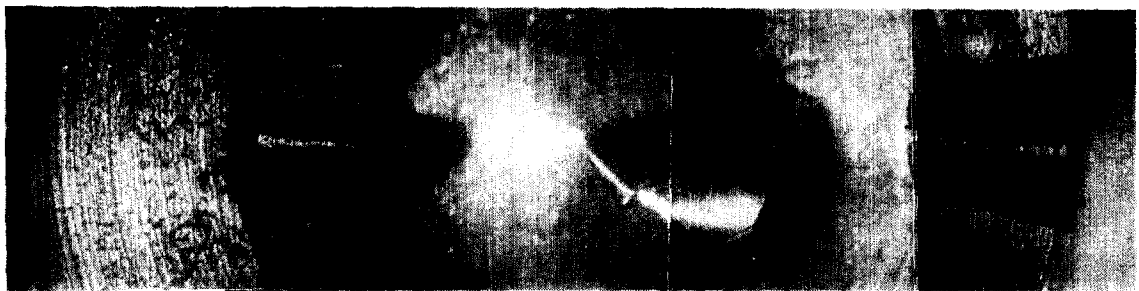


Fig. 18 Profile on the end of BTA drilled workpiece($\phi 19.25$, $V=58/\text{min}$, $f=0.2\text{mm/rev}$)



Fig. 19 Profile on the end of BTA drilled workpiece ($\phi 19.25$, $V=65\text{m/min}$,
 $f=0.16\text{mm/rev}$)

4-5 공구의 마멸

앞서 上原의 이론식¹³⁾에 의해서 공구의 마멸량을 추산할 수 있으나 본 논문에서는 현장의 어려움에 따라서 SEM으로 공구마멸 흔적을 관찰하여 마멸 경향을 고찰하였다. Fig. 20에서 절인의 마멸 현상은 150m/min 이하의 저속 절삭에서 나타나는 마멸 기구를 나타내고 있다.

Fig. 20은 구멍의 외주에 닿아 가장 마멸이 심

한 절인의 경사면(a)과 여유면(b), 제 1 guide pad(c)의 마멸현상을 SEM으로 촬영한 것이다.

(a)의 절인의 끝부분이 떨어져 나간 원인은 구성인선에 의한 chipping현상이라고 생각되며 crater 마멸과 flank 마멸을 (a), (b)를 통하여 확인하였고 때로는 adhesive 마멸도 확인되었다. 이것은 공작물과 공구사이의 마찰열과 절삭저항, 칩의 분말, 공구의 마멸분, 구성인선 등의 영향에 따른 복합적인 마멸 현상이라고 사료된다.

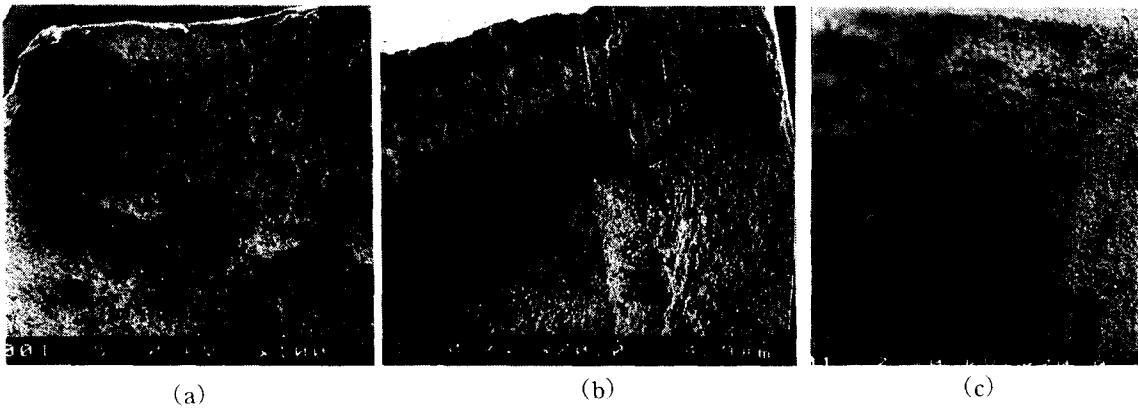


Fig. 20 Profile of the BTA tool edge and guide pad by SEM ($\phi 19.25$, $v=120\text{m/min}$,
 $f=0.0805\text{mm/rev}$)

5. 결 론

이상과 같은 실험과 고찰을 통하여 싱글 튜브 시스템(STS) BTA 공구를 이용하여 SM55C, SM45C 강의 심공 가공 특성을 연구한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 절삭 속도는 SM55C일 경우 70m/min 정도에서 내경의 변화, 표면조도, 진원도 등이 양호하였다.
- (2) 가공 깊이에 따라 SM55C 강의 심공 가공에 있어서 BTA 공구의 직경에 대해 공작물의 내경의 변화는 초기에는 약 20 μ m 확대되나, 10m 구간에서 20 μ m, 20m 구간에서 35 μ m, 30m 구간에서 40 μ m 정도로 축소되었다.
- (3) 구멍의 내경 형상은 타원형, 3각형, 4각형, 5각형이 나왔으나 이 중 3각형 형상이 대체로 많이 나타났다. 이것은 공구 회전 중심의 데비에이션(deviation)과 진동에 의한 결과라고 생각된다.
- (4) SEM에 의한 공구 마멸을 SM45C 강을 심공하여 관찰한 결과 구성 인선에 의한 chipping 현상, flank 마멸, crater 마멸, 때로는 adhesive 마멸 등 다양한 현상이 나타났는데 이것은 공작물과 공구 사이의 마찰열과 절삭저항, 칩의 분말, 공구의 마멸분, 구성인선 등의 영향에 의한 복합적인 마멸 현상이라고 사료된다.
- (5) SM45C 강의 심공 가공시 guide pad의 마멸은 공작물의 내경과 밀착해서 가공 방향으로 진행함에 따른 열적 영향과 마찰에 의한 마멸 현상이 뚜렷하였으며 burnishing 효과는 공작물의 정도에 큰 영향을 미쳤다.
- (6) SM45C 강의 심공 가공시 chip의 형상은 conical type으로 나타났고, chip breaker에 의해서 끊어져 나오면서 1800rpm의 회전에서는 flow type의 chip 형상도 배출되었으나 튜브

의 진동이 심하여 회전수는 그 이하의 조건에서 실시함이 바람직하다고 사료되었다.

참 고 문 헌

- 1) 佐久間敬三, 田口紘一, 甲木昭雄, "Solid Boring 工具(BTA 方式)による 深孔加工の研究", 精密機械, 44-9, 1978.
- 2) 佐久間敬三, "最近の 深穴加工 技術", 32-2, pp. 257~262, 1980.
- 3) 佐久間敬三, 田口紘一, 甲木昭雄, "Solid Boring 工具(BTA 方式)による 深穴加工の研究", 日本機械學會 論文集(C編), 46-103, pp. 327~334, 1980.
- 4) 佐藤素, 度邊忠明, "切削加工", 朝倉書店, pp. 115, 1982.
- 5) B. J. Griffiths, R. J. Grieve, "The Role of the Burnishing Pads in the Mechanics of the Deep Drilling Process", Int. J. Prod. Res. 23~4, pp. 647~655, 1985.
- 6) A. G. Thornton, J. Wilks, "Tool Wear and Solid State Reactions During Machining", WEAR, 53, pp. 165~187, 1979.
- 7) 中山一雄, "切りくず 形状の 幾何學", 精密機械, 38-7, pp. 34~40, 1975.
- 8) 奥島啓式 外 2人, "S45C 鋼の 仕上切削時に生じる表面あウきの 原因について", 精密機械, 38-2, pp. 61~67, 1972.
- 9) 田口紘一, "深穴あけ 工具の 切削機構と加工 形状 誤差", 應用機械工學 11, pp. 148~153, 1989.
- 10) 甲木昭雄, 外 3人, "深穴加工における 穴の 曲がりに関する研究", 日本機械學會論文集 (C編), 58-546, pp. 613~620, 1992
- 11) 上原邦雄, 外 3人, "低速領域における 超硬 工具の摩耗機構", 精密機械, 38-3, pp. 261~267, 1972.