

Deep Hole 가공시 SM55C의 절삭성에 관한 연구

이 충일(한국셀석유), 장 성규(동의공전), 전 언찬(동아대)

A Study on Machinability of SM55C for Deep Hole Drilling

C. I., Lee, S. G., Chang, E. C., Jeon

Abstract

The purpose of this study is to analyze how tools, guide bush type and the change of cutting speed have effects on the diameter of cutting hole, surface roughness of workpiece and roundness during the deep hole machining of SM55C with solid BTA drill by using BTA drilling system through experiment.

Conclusion reached is as follows. (1)The diameter was expanded for 25 μ m at the first section and then was reduced 0 μ m and 15 μ m respectively at the 10m and 20m section comparing to the diameter of tool with respect to the variation of cutting length. (2) It was proved that roughness was below 12S for the whole section of cutting length. (3)The roundness has been below 12 μ m. Regarding the polygon phenomenon, it has been proved that not only uneven number of angle but also even number (quadrilateral, elliptical) of angle were made. (4)Variation of diameter, surface roughness of workpiece and roundness turned out to be the best at 70m/min of cutting speed, 0.15mm/rev of feed.

Key Words: Deep Hole Drill(심공가공), Surface Roughness(표면거칠기), Roundness(진원도), Hole Over Size(구멍확대량)

1. 서 론

구멍 가공은 기계 가공중에서 약 1/3을 점유하

는 중요한 가공이지만, 종래의 기술적인 진보가 적은 감이 있다고 생각되어진다. 그러나 다품종 소량 생산의 효율화, 자동화의 요청에 의하여 Machining center의 각종 요소 부품, 즉 Ball Screw 및 서-보 모터의 성능 향상으로 인하여 단위 기계는 물론 FMS라인까지 비약적으로 발전하여 활용되어지고 있다.

이러한 구멍가공중 드릴 가공은 요구되는 정밀도를 만족하기 어려우며, 높은 생산성이 요구되는 가공법중 하나로서 무인화, 자동화, 고능률화 및 정도 향상이라는 측면에서, 이에 대응할 수 있는 가공 방법이 공작물, 공구 재료, 공구 형상 및 절삭 조건 등에 걸쳐 광범위하게 연구 개발되고 있다.

드릴 가공 가운데 특히 어려운 가공 방법은 심공 가공(Deep hole drilling)으로, 깊이/직경(L/D)의 비가 극히 높은(약 5배 이상) 드릴 가공의 경우에 칩의 배출, 절삭날부의 윤활, 공구의 진동 등의 문제로 인하여 일반적인 가공 방법으로는 가공이 어려운 경우가 많다¹⁾. 따라서 L/D의 비가 통상 5배 이상에서의 적절한 가공 방법은 고압력의 절삭유를 공급할 수 있는 공구를 이용하여 가공하고 있으며, 그 대표적인 방법으로는 Long drill, Spade drill, Gun drill, BTA drill 및 Eject drill 등이 이용되어지고 있다.

이러한 구멍가공 기술의 개발중 심공가공에서도 BTA 드릴가공은 1942년 Beisner에 의하여 개발²⁾된 이래 많은 기술적인 향상은 보이지 않지만, 초경합금 텀의 개발과 더불어 적용 및 공구 표면의 코팅으로 절삭성능의 향상 및 최근에는 세라믹을 가이드 패드에 적용하는 연구가 이루어지고 있는 BTA드릴에 의한 가공은 Pad에 의한

자기안내 방식에 기초하여 독특한 절삭력의 분산과 고압 절삭유 급유에 의하여 칩배출이 행하여지고 있기 때문에 L/D(길이/직경)의 비가 큰 심공가공에서는 다른 가공 방식에 비하여 우수한 특성을 갖고 있기 때문에 대형 금형의 냉각수 구멍가공, 열 교환기의 핵심 부품인 튜브 시트의 가공 및 자동차용 각종 부품가공등 그이용 범위가 확대되어 가는 경향이며, 최근 국내에서는 50여 업체에서 일반 범용기를 개조한 장비 및 전용장비를 갖추고서 각종 부품을 생산하고 있다.

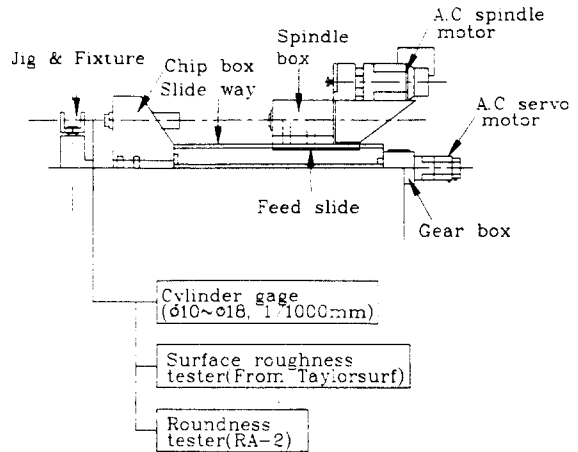
이제까지 심공가공중 BTA드릴에 의한 연구 결과를 살펴보면, BTA방식에 의한 심공 가공의 개론적인 연구³⁾, 절삭 조건에 관한 연구⁴⁾, 가공 구멍의 표면 형상에 관한 연구⁵⁾, 고성능, 고정도가공에 관한 연구,⁶⁾ 및 구멍의 휨에 관한 연구⁷⁾ 등의 연구가 있다. 이와 같이 국외에서는 많은 연구가 이루어지고 있지만, 국내에서는 심공가공에 대하여 몇 편의 연구보고 및 논문을 발표하고 있으나 소수에 지나지 않으며, 심공 가공에 대하여 아직까지 국내에서는 크게 관심을 갖지 못하고 있는 실정이다.

따라서 본 연구에서는 BTA 드릴을 사용하여 길이/직경의 비가 큰 구멍가공인 심공가공을 할 때 직경의 정밀도(휨, 구멍의 확대), 동심도, 평행도, 원통도, 진직도, 및 표면거칠기등은 현재 나타나는 가공상의 큰 문제점으로서 요구되는 품질을 만족시키지 못하고 있는 자동차용 부품의 SM55C를 심공 가공을 할 때 절삭 성능에 관하여 실험을 통하여 분석하였다.

2. 실험 장치 및 실험 방법

2.1 실험 장치

본 실험에 사용된 실험 장치는 2-spindle type의 CNC deep hole drilling M/C (Model: STGA2- 450CNC, Shin il machine Co., Ltd)으로서 가공 능력은 Max. $\phi 32$, 드릴링 깊이는 Max. 250mm, Spindle의 회전수는 0~4500rpm까지 변환 가능한 기계이다. Fig. 1은 실험 장치 및 측정 시스템의 개략도에 대하여 나타내었다. Pressure head부에 설치되어 있는 가이드 부쉬의 형태는 고정형(Fixed type) 부쉬를 사용하였다.



또한 시험편의 내경 측정은 1/1000mm의 실린더 게이지를 이용하여 직경 변화를 측정하고, 표면 거칠기는 Surface roughness tester(Form Taylorsurf)로, 진원도는 Roundness tester(RA-2)로 측정하였다.

Fig. 1 Schematic diagram of experimental apparatus

2.2 시험편 및 공구

본 실험에서 사용된 시험편은 자동차용 구동장치 부품으로 사용하는 Sliding Yoke로서 기계 구조용 탄소강인 SM55C이며, 그 화학적 성분은 Table 1과 같다. 시험편은 1150℃까지 가열하여 약 950℃에서 단조 작업을 하고, 열처리는 단조 소입방식으로 약 850℃이상의 온도에서 단조열과 충격 에너지를 이용하여 소입조에 2분 이상 침적하여 열처리가 이루어지도록 관리를 하였으며, 그리고 650℃에서 약 2시간 동안 Tempering을 실시하여 가공성을 향상시켰다. 이때 나타난 시험편의 기계적 성질은 Table 2와 같다.

Table 1. Chemical compositions of the workpiece(wt. %)

C	Si	Mn	P	S
0.54	0.25	0.75	0.024	0.027

시험편은 실험을 고려하여 단면부 및 외경을 1차 가공 하였으며, 시험에 사용된 가공 시험편의 치수 및 형상은 Fig. 2와 같다. 그리고 실험에 사용된 Table 2 Mechanical properties of the workpiece

Yield strength (MPa)	Tensile strength (MPa)	Elongation (%)	Hardness (H _B)
539	735	10	232

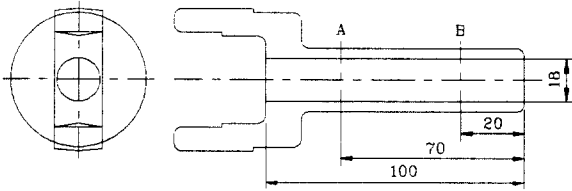


Fig. 2 Shape and dimensions of the workpiece

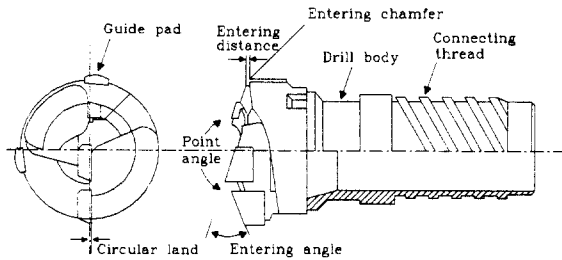


Fig. 3 Shape of the BTA drill

용한 공구는 초경 P20계열인 BTA드릴(Multi-tip head with brazed tips)로서 $\phi 18.1h_6$ 을 사용하였다. Fig. 3은 공구의 치수 및 형상을 나타내었으며, 절삭날은 외측날, 중심날 및 내측날로서 3개의 절삭날로 구성되어 있으며, 안내 패드는 절삭력을 지지하는 가이드 패드와 안내작용을 하는 가이드 패드등 2개의 안내패드로 구성되어 있다.

2.3 실험 방법

본 실험에서는 Fig. 4에서의 Tooling system에서와 같이 CNC deep hole drilling m/c 축의 Collet holder에 튜-브를 고정시키고, 그 선단에 공구인 BTA드릴을 장착시켰다. 그리고 절삭유는 Pressure head를 통하여 공구의 외측에서 공급할 수 있도록 하였으며, 공구의 내부로 칩이 배출되도록 하였다. 실험은 공구회전과 공구 이송방식을 채택하였으며, 가이드 부쉬와 축 사이에 요구되는 Alignment를 $\pm 0.025\text{mm}$ 이내로⁸⁾ 맞추었다.

절삭 조건은 BTA드릴의 경우, 절삭 속도를 60~110m/min, 이송 속도를 0.1~0.2mm/rev로 추

천⁹⁾하고 있으나, 절삭 속도를 60, 70, 80m/min로 변화시키고, 이송 속도는 0.1, 0.15mm/rev로 변화시키면서 드릴 가공을 하였다. 이때 가공 깊이는 Fig. 2에서와 같이 Sliding yoke의 전체길이 100mm로 하였다.

실험에 사용된 절삭유는 비수용성 황화 염화제(KS 2종13호)로서 심공 가공 전용 절삭유인 DS-50N을 사용하였으며, 실험 장비에 장착된 가변형 펌프를 통하여 35kg/cm^2 의 압력으로 압력 헤드에 공급하였다.

그리고 초기에 공구가 가공 시작점에서 이송 속도 및 초기 공구의 자리잡음에서 발생하는 진동으로 공구의 파손을 방지하기 위하여, 가이드 부쉬에서 공구의 가이드 패드가 가공구멍에 완전히 진입한 후, 정상적인 절삭 조건에서 가공이 될 수 있도록 절삭조건을 $V=28\text{m/min}$, $f=0.12\text{mm/rev}$ 로 낮추어 공구 출발지점에서 10mm까지 전진시키도록 하여 실험을 실시하였다.

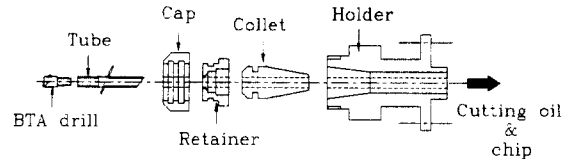


Fig. 4 Tooling system of the BTA drilling

3. 실험결과 및 고찰

3.1 가공조건에 따른 공작물의 내경의 변화

BTA방식 드릴링에서 가공조건에 따른 공작물의 내경의 변화상태를 비교 분석하기 위하여 각 조건의 변화와 공구수명(가공길이)의 변화에 따른 내경의 변화상태를 분석하였다.

절삭 속도가 $V=60, 70, 80\text{m/min}$ 에서 이송 속도 $f=0.15\text{mm/rev}$ 로 하여 실험을 하였다.

이 실험에서 측정은 Fig. 1의 시험편에 표시한 X-Y방향으로 내경의 변화상태를 측정을 하여 평균치로 분석하였다.

Fig. 5는 $V=58\text{m/min}$, $f=0.15\text{mm/rev}$ 조건에서 A, B부의 내경 측정 결과를 나타내었다. 통상 BTA드릴의 경우 공구의 직경보다 가공 구멍의 확대량은 초기에 $27\sim 70\mu\text{m}$ ⁹⁾로 나타난다고 하는

연구가 있지만, 본 실험에서는 A, B부에서 초기 상태는 1~6 μm 으로 확대되며, 10m구간에서 16~23 μm 으로 축소되고, 20m구간의 24~40 μm 의 범위로 축소되는 현상이 나타났다.

Fig. 6은 $V=70\text{m/min}$, $f=0.15\text{mm/rev}$ 조건에서 나타난 내경의 분포를 나타내었다. 초기구간에서는 23~28 μm , 10m구간에서 9~-2 μm 로 공구의 직경보다 확대 및 축소가 동시에 일어남을 알 수 있었다. 그리고 20m구간에서는 8~20 μm 의 축소가 일어남을 볼 수 있었다.

이와 같이 심공 가공시 내경의 축소 및 확대가 일어나는 이유는 가공조건, 공구 형상, 공작물 재료 등의 변화에 기인한다고 할 수 있다. 이러한 요인은 구성인선에 의한 중절삭(重切削)으로, 구멍의 확대가 일어나며 공작물이 절삭열에 의해 팽창한 뒤 냉각으로 인하여 가공 구멍의 축소가 일어난다.^{5),10)} 또한 절삭력과 절삭유의 압력에 따라서 공구의 위치이동, 혹은 진동에 의한 공구선단의 떨림으로 가공 구멍의 확대 및 축소가 일어난 것으로 생각된다. 그리고 Fig. 1에서와 같이 A(+20mm)와 B(+70mm)의 위치에서 각각 측정된 차이가 볼수있으며 B부에서는 산포가 큰 것을 보여지고 있다. 이것은 BTA시스템에서 공구가 진행함에 따라서 튜-브의 Over hang이 길게 되어 공구선단에서 진동이 발생하여 확대 변화량이 크게 되므로 초기의 A부에 대한 B부의 차이가 크게 발생한다고 생각되어진다.¹¹⁾

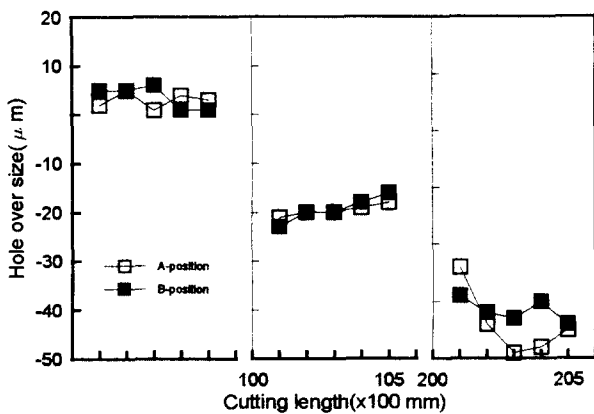


Fig. 5 Relation between hole over size and cutting length for the BTA drill ($V=58\text{m/min}$, 0.15mm/rev)

드릴 본체의 파손등으로 분류되며, 드릴가공의 경우는 절삭이 구멍속에서 이루어지기 때문에 이상이 발생하더라도 발견하기 어렵고 이것이 공구의 파손으로 이어지며, 또한 BTA드릴의 경우 복합날로 구성되어 있어서 이상발생의 형태도 복합적으로 일어나기 때문에 원인 예측 및 그 대책의 강구가 어렵다.

공구의 마모상태는 $V=70\text{m/min}$, $f=0.15\text{mm/rev}$ 에서는 외측날과 내측날에서 경사면(Crater) 마모는 정상 상태의 마모가 일어나고, 중심날에서는 상부의 날끝 가까운 부분에서 경사면 마모가 일어나며 또한 선단에는 심한 칩핑현상이 발생하였다.

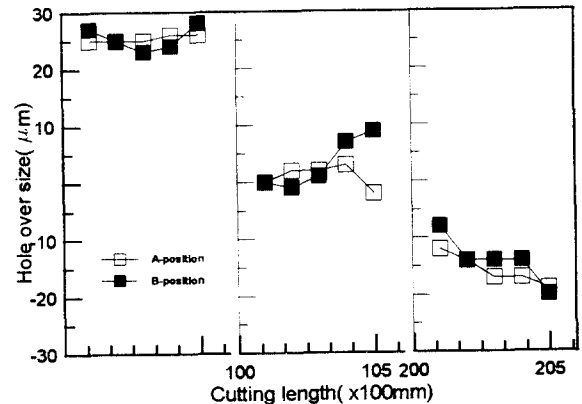


Fig. 6 Relation between hole over size and cutting length for the BTA drill ($V=70\text{m/min}$, $f=0.15\text{mm/rev}$)

$V=80\text{m/min}$, $f=0.15\text{mm/rev}$ 조건에서는 초기부터 축소현상과 확대현상이 동시에 일어나며, 공구의 마모현상은 외측날에서 여유면의 칩핑현상으로 선단 파손과 일부 미소 칩핑현상이 나타나며, 중심날에서 선단마모 현상이 발생하고 내측날도 일부 미소 칩핑현상이 일어났다.

이상과 같이 가공 구멍의 확대 및 축소현상이 일어나는 것은 앞에서 언급한 요인에 추가하여 가이드 패드의 Burnishing작용에 의해 확대 및 축소가 일어난다.⁵⁾

3.2 표면조도에 미치는 가공조건의 영향

가공면의 거칠기는 일반적으로 강일 경우는 9~25S(Rmax)정도이며 주철이나 알루미늄일 경우는 12.5S(Rmax)정도이다.⁹⁾ 그리고 가공 정밀도

초경드릴의 절삭성능은 절삭날부의 마모, 칩핑,

는 공구제작 메이커나 기계의 가공 정밀도에 따라서 다소 차이가 있지만 통상 IT7-8급 정도이며 대체적으로 리이머등과 같은 2차가공은 필요로 하지 않는다.

그리고 Fig. 7은 공구의 종류에 따른 표면거칠기의 분포를 나타내고 있다. V=60m/min에서 모두 1S(Rmax)이하로 표면조도가 상당히 양호하게 나타난다. 그리고 V=70m/min, f=0.15 mm/rev에서 7S(Rmax)이하로 양호한 상태로 나타났다.

f=0.1mm/rev에서도 1S(Rmax)이하로 나타남을 볼 수 있다.

표면조도는 가공길이의 변화에 따라서 영향은 크게 받지않음을 알수있다. 이것은 BTA드릴가공의 특징인 버어니싱작용은 공구와 튜브에서 진동이 발생하지 않으면 표면조도에 영향을 주지않는 것을 생각되어진다.

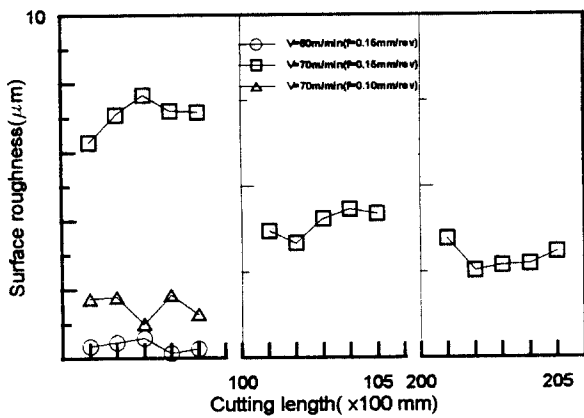


Fig. 7 Relation between surface roughness and cutting length for the BTA

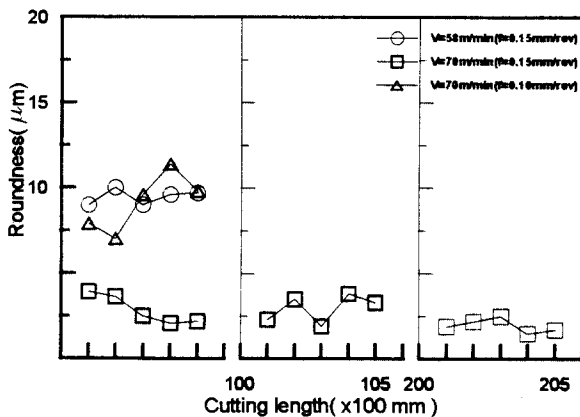


Fig. 8 Relation between roundness and cutting length for the BTA drill in A position

3.3 진원도에 미치는 가공조건 의 영향

BTA방식에서 L / D의 비가 큰 경우 가공중에 공구의 진동과 앞에서 논한 여러가지의 영향으로 인하여 가공 구멍이 다각형의 형상으로 된다.

Fig. 8에서 진원도의 분포는 A부에서 측정 한 결과를 나타내었으며, V=70m/min, 0.1mm/rev 조건에서 11 μm까지 나타나는 경우도 있지만 대개 12 μm이하의 구간에 분포되어 있다. 절삭 조건은 V=70m/min, f=0.15mm/rev로서 A, B부 모두 5 μm의 범위내에 포함 되어있다. 그리고 B부에서의 측정결과는 A부 측정치 보다 약 6배가 높은 110 μm범위까지 분포 되어 있었다. 이러한 현상은 초기에 가이드 부위에 의하여 안내되어 안정된 진원도를 나타내고 있지만 가공 깊이가 깊어짐에 따라 가이드 패드의 마모와 더불어 구멍 가공면을 Burnishing 함으로 공구에 무리한 힘이 걸리게 되고 공구의 반경방향의 진동이 크게 되어 일어나는 것으로 생각된다.¹¹⁾

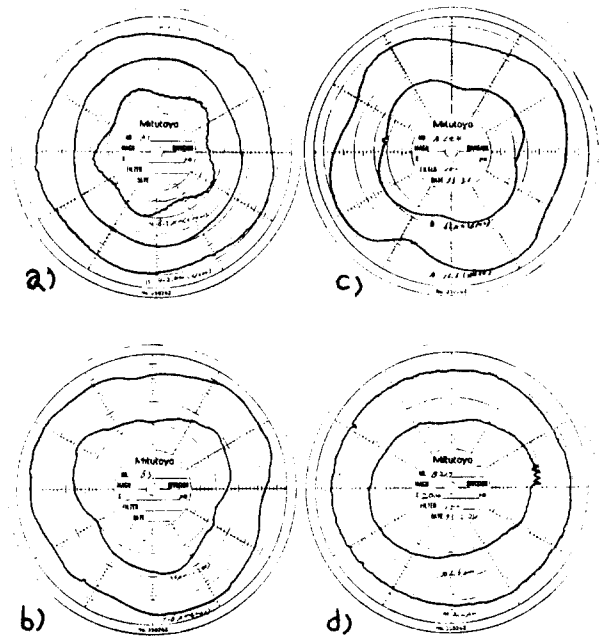


Fig. 9 Type of roundness for BTA drill

진원도의 형상은 일반적으로 BTA드릴에서 다각형 형상은 5각형이 일반적으로 나온다고 한다.¹¹⁾ 그러나 Fig. 9의 a) 가공초기부터 절삭 조건에 관계없이 항상 5각형의 형상이 지속되지만, 절삭 조건의 변화에 따라서 b)와 같이 3각형 형상 및 진동에 의한 타원형상이 나오기도 한다. 이러한 현상은 공구의 클램핑, 튜브 및 공구의

상태에 따라서 이러한 결과가 나온다고 생각되어 진다.

여기서 절삭 속도 $V=70\text{m/min}$ 에서 일부 B부에서 진원도가 크게 변화하는 것은 드릴 가공이 시작되고 나서 공구에서 진동의 진폭이 증대하여 이러한 현상이 간혹 발생하는 것으로 생각된다.

이와 같은 현상은 트위스트 드릴이나 리이머에 의한 구멍 가공에서도 같은 현상이 일어나는 것으로 생각되며, 깊은 구멍 가공의 경우 가공 방법 및 조건, 그리고 공구의 복잡성등으로 인하여 그 생성요인에 대하여 정확히는 밝히지 못하고 있다. 절삭 속도가 변화함에 따라 BTA드릴 가공에서 다각형 형상은 홀수¹¹⁾로 발생한다고 하지만 본 실험에서는 Fig. 9 d)와 같이 일부 4각형도 나타났다.

4. 결 론

본 연구에서는 BTA drill을 사용하여 길이/직경의 비가 큰 구멍가공인 심공가공을 할 때 직경의 정밀도(휨, 구멍의 확대), 동심도, 평행도, 원통도, 진직도, 및 표면거칠기등은 현재 나타나는 가공상의 큰 문제점으로서 요구되는 품질을 만족시키지 못하고 있는 자동차용 부품의 SM55C를 심공 가공을 할 때 절삭속도의 변화가 가공구멍의 내경, 공작물의 표면거칠기 및 진원도 등에 미치는 영향을 실험을 통하여 분석한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 구멍가공 길이의 변화에 따른 내경의 변화는 초기구간에서는 약 $25\mu\text{m}$ 으로 확대되며, 10m 구간에서는 $0\mu\text{m}$, 20m구간에서 $15\mu\text{m}$ 정도로 축소되었다.
- (2) 표면거칠기는 가공길이의 전구간에서 12S (R_{max})이하로 되었다.
- (3) 진원도는 $12\mu\text{m}$ 이하로 나오며, 다각형의 형상은 홀수각뿐만이 아니고 짝수각(4각형, 타원형)으로도 나오는 것이 확인되었다.
- (4) 절삭속도 70m/min , 이송 0.15mm/rev 의 조건에서 내경의 변화, 공작물의 표면거칠기 및 진원도 등이 가장 양호하였다.

참 고 문 헌

1. 佐久間敬三; “最近の深穴加工技術”, 機械の

- 研究, vol.32, No.2, pp. 257~262, 1980
2. Frazao j.; On the Design and Development of a New BTA Tool to Increase Productivity and Workpiece Accuracy in Deep Hole Machining, IJAMT, Vol. 1 No. 4, pp.3~23, 1986
3. Pearson, H. J.; “Deep Hole Boring Part I. Current Boring Practice”, Aircraft Production, vol. 15, No. 8, pp. 276~283, 1953
4. Fink, P.; “Optimum Cutting Speed and Feed in Deep Hole Drilling”, Proc. of the Second International Conference on Deep Hole Drilling and Boring, pp. O1~O15, 1977
5. 佐九間敬三・田口紘一・甲木昭雄; “Solid Boring 工具による深穴加工の研究(工具案内部のバニシ作用と加工穴精度への影響),” 日本機械學會論文集”, vol. 46, No.403, pp. 327~334, 1980
6. Latinovie V. N.・Osman M. O. M.; “Optimal Design of B.T.A Deep Hole Cutting Tools with Staggered Cutters”, Int. J. Prod. Res., vol. 27, No. 1, pp. 153~173, 1989
7. Griffiths B. J.; “Axial Hole Runout during Deep Drilling (Self Piloting Drilling)”, Proc. of the Second International Conference on Deep Hole Drilling and Boring, pp. N1~N7, 1977
8. 野村倬司; “エジェクタ方式の深穴加工”, ツールエンジニア, vol. 22, No. 12, pp. 60~64, 1981
9. 中村健三; “穴加工 ハンドブック”, pp. 154~200, 1979
10. Katsuki A.・Onikura H.・Sakuma, K.・Taguchi K.; “The Influence of Tool Geometry on Axial Hole Deviation in Deep Hole Drilling -Shape of the Guide Pad-”, J. of the JSPE, vol. 56, No. 524, pp. 1010~1016, 1990
11. Sakuma, K.・Taguchi, K.,・Katsuki, A; “Study on Deep Hole Boring by BTA System Solid Boring tool -Behavior of Tool and its Effects on Profile of Machined Hole -”, Bulletin of the JSPE, vol. 44, No. 9, pp. 1111~1116, 1990