

CNC 자동선반을 이용한 SCM415강의 소형 깊은 내경홀 가공 특성 연구

최철웅*, 김진수*[#]

*한국폴리텍대학 기계시스템과, *한국폴리텍대학 컴퓨터응용기계과

A Study on the Machining Characteristics of SCM415 Steel with Small Deep Inner Diameter Holes Using CNC Automatic Lathes

Chul-Woong Choi*, Jin-su Kim*[#]

*College of Computer Application Mechanical, Korea Polytechnic UNIV., *College of Mechanical System, Korea Polytechnic UNIV.

(Received 22 December 2021; received in revised form 24 February 2022; accepted 21 March 2022)

ABSTRACT

Small-scale production is increasing, and the manufacturing industry is gradually changing into a smart manufacturing industry. Therefore, research on securing optimal cutting conditions for factors affecting machining precision during cutting is very important. Therefore, the purpose of this study is to

After machining the inner diameter hole of SCM415 steel with a cermet tool on a CNC automatic lathe, the surface roughness, dimensional accuracy, and dimensional straightness are measured according to the feed rate to analyze the machining characteristics and suggest optimal cutting conditions. The test material was cut using a cermet tool for secondary cutting after a round bar with a diameter of 20 mm was mounted on a CNC automatic lathe. The cutting length was fixed at 0.5 mm, and the cutting speed was fixed at 3200 rpm. When the feed rate was changed to 0.05, 0.1, and 0.15 mm/rev, the respective surface roughness during the 15th test was measured. Consequently,

The lower the feed rate, the better is the surface roughness. In addition, the optimum cutting conditions for SCM415 steel were observed to be the most ideal cutting conditions than the condition of 0.05 mm/rev at a cutting speed of 3,200 rpm and a feed rate of 0.1 mm/rev.

Keywords : Chipping(치핑), Dimensional Accuracy(치수 정확도), Dimensional Straightness(치수 직진도), Surface Roughness(표면 거칠기), SCM415

1. 서 론

최근 다품종 소량생산이 늘어나고 있는 추세로 제조산업도 점차 스마트 제조산업으로 바뀌고 있

다. 장비들의 센서를 장착한 컴퓨터화가 되면서 모든 작업이 자동으로 가공이 이루어지고 있는 것처럼 보이지만 실제적인 작업지시는 사람이 하고 있으므로 절삭가공에서의 가공 정밀도에 직접적 영향을 미치는 주요 요인은 절삭속도, 이송속도, 절삭깊이 등이다. 일반적으로 이송속도를 증가시키면 형상 오차가 커지게 되고 주축의 회전수를

Corresponding Author : ccw1021@kopo.ac.kr

Tel: +82-54-468-5237, Fax: +82-54-468-5239

증가시키면, 공구 수명이 짧아지는 결과를 초래한다^[1-5]. 또한 절삭가공할 시 이송속도와 열처리 및 절삭유 사용 유무, 그리고 코팅종류에 따른 공구 선택이 표면거칠기 등의 가공특성에 미치는 영향은 크다^[6].

일반적으로 소형 홀 가공시 드릴과 보링을 주로 사용하는데 드릴과 보링 또는 리머가공시 가공사이클 시간이 길고, 절삭속도와 이송 속도를 낮게 설정하여 가공하고 있으며, 가공시 초기 드릴로 잘못 가공시에는 진직도에 문제가 일어날 수 있다.

본 실험에서는 소형 깊은 내경 홀을 가공시 가공특성에 따른 실험적 연구를 통해서 생산성 향상에 도움을 주고자 한다.

따라서 본 연구는 산업현장에서 사용되어 지고 있는 CNC 자동선반 기계를 이용하여 SCM415강에 대하여 깊은 소형홀을 이송속도에 따른 표면거칠기, 진직도, 치수정밀도를 비교분석하여 최적의 절삭조건을 제시 하는데 목적이 있다.

2. 본 론

2.1 관련이론

절삭 공구에 가해지는 부하는 크게 기계적, 열, 화학 및 마찰 부하로 분류된다.

네 가지 범주로 구분된 부하는 독립적으로 작용하지 않고 상호적으로 작용하며 전체적인 부하의 총합에 영향을 미친다.

또한 공구가 피삭재에 어떻게 진입하는가에 관한 또 다른 형상 요소가 존재하는데, 이 요소는 절삭 인선 각도, 절인 경사각 및 경사각으로 정의된다. 인서트의 상단(경사)면이 피삭재면에 수직인 경우, 공구의 경사각은 네거티브(-)으로 간주된다. 반면, 절삭 인선이 피삭재 표면에서 뒤로 기울어진 경우, 공구의 경사각은 포지티브(+)로 간주된다.

네거티브 경사에서의 가공 작업은 강 또는 주철 등과 같은 단단한 재질을 가공하는데 효과적이지만, 동시에 높은 절삭력이 발생하므로 칩 흐름이 제한되고, 견고성이 떨어지는 장비, 고정 장치 또는 피삭재의 경우에는 진동이 발생하게 된다.

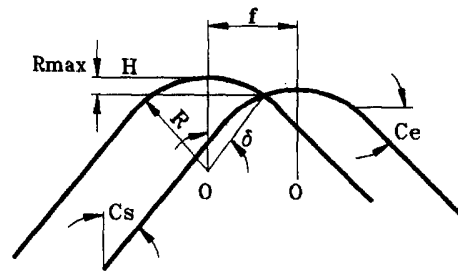


Fig. 1 Theoretical surface roughness by ideal cutting

포지티브 경사에서의 작업은 발생하는 절삭력의 수준이 낮기 때문에 칩 흐름이 보다 자유롭지만, 칩핑이나 깨짐이 발생하기 쉬울 뿐만 아니라 칩을 제어하기가 쉽지 않다. 포지티브 경사에서의 절삭 작업은 날카로운 절삭 인선이 필요한 점착성 또는 초합금 등의 재질에 적합하다^[7].

절삭 가공면의 표면거칠기는 공구날끝 반경의 유무와 이송의 크기에 따라서 다음과 같이 기하학적으로 해석 할 수 있다. Fig. 1은 절삭공구의 반경이 있고, 이송이 적어서 절삭 공구 날끝부분의 윤곽만 남을 경우에 Rmax로 나타낸 것이다.^[8]

$$f \leq 2R \sin C_e \quad (1)$$

$$R_{\max} = R - R \cos \delta = R(1 - \cos \delta) \quad (2)$$

$$R_{\max} = R(1 - \sqrt{1 - \sin^2 \delta}) \cong \frac{R}{2} \sin^2 \delta \quad (3)$$

$$\cong \frac{f^2}{8R} \quad (4)$$

2.2 실험장치 및 재료

본 실험에 사용된 가공 장비는 (주)한화에서 제조된 CNC자동선반 장비로서 모델명은 XD38 II이며 최대 가공지름은 38mm 이하로 주축이 2개가 있으며 메인 스피indle과 서보 스피indle의 양쪽에서 소재가 자동으로 투입이 될 수 있는 바피드(bar feed) 장치가 있고, 각축을 가공할 수 있는 제어축은 5개의 축이 있다. 또한 가공 완료 후 완제품은 자동으로 내부 컨베이어 시스템에 의해 배출되는 장비로써 Fig. 2에 내부구조를 표시하였고, 자동선반의 사양은 Table 1에 나타내었다.

실험에 사용된 장비중 표면거칠기 측정장비는

(Mitutoyo Co., Surftester SJ-210)는 Fig. 3과 같고, 측정 장치에 대한 세부 규격은 Table 2와 같다.

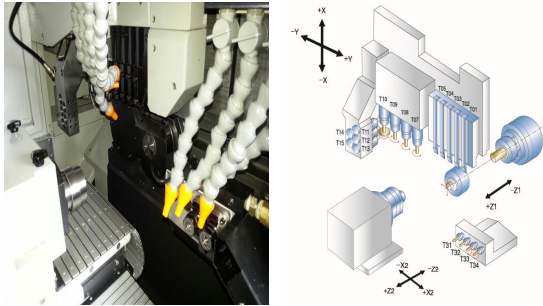


Fig. 2 Internal structure of CNC automatic lathe

Table 1 Automatic Lathe specification

Item		Specification
Manufacturer		Hanwha
Model		XD38 II
Max. Turing ϕ (main)		ϕ 38
Max. Stroke (mm)	main	320
	sub	280
spindle speed [rpm]	main	6,500
	cross drill (main)	6,000
	sub	6,500
	back tool	6,000



Fig. 3 Photograph of surface roughness tester

Table 2 Specifications of surface roughness tester

Item	Specification
Manufacturer	Mitutoyo corporation(Japan)
Model	Surftester SJ-210
Driving method	One reciprocation
Driving speed	Measurement(mN/s) : 0.25, 0.5, 0.75
	Auto return(mm/s) : 1
Measuring	Ra, Rz, Rmax, Rq, Rt
Cut-off value [mm]	0.08, 0.25, 0.8, 2.5, 8, 25
Dimension [mm]	167 × 90 × 186

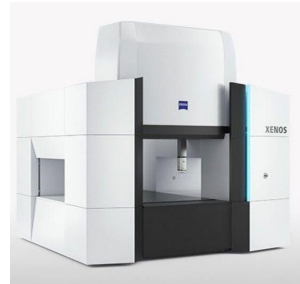


Fig. 4 3D measuring instrument

Table 3 specification of 3D measuring instrument

Item	Specification
Manufacturer	Zeiss corporation (Germany)
Model	Zeiss XENOS
Driving Method	Linear drive
length measurement error	$0.3 + L/1000 \mu m$
Dimension(mm)	900 × 1,500 × 700

가공 치수의 정확도를 측정하기 위하여 자이스 (Zeiss) 브릿기 타입의 3차원 측정장비는 Fig. 4에 나타내고 있으며, 세부 규격은 Table 3과 같다.

실험에 사용된 소재는 SCM415강이며 화학성분은 Table 4에 표시하였고, 가공원자재인 지름 30mm, 길이 2000mm인 소재는 Fig. 5에 표시하였으며, 하나를 가공 완성 후 자동으로 소재가 주입되게 세팅하였으며, 가공한 가공도면은 Fig. 6에 도시하였다.

Table 4 Chemical composition of specimens

Element	SCM415(%)	
C	0.13	- 0.18
Si	0.15	- 0.35
Mn	0.6	- 0.9
P	0.03	이하
S	0.03	이하
Cr	0.9	- 1.2
Ni	0.25	이하
Mo	0.15	- 0.3
Cu	0.3	이하



Fig. 5 Raw material

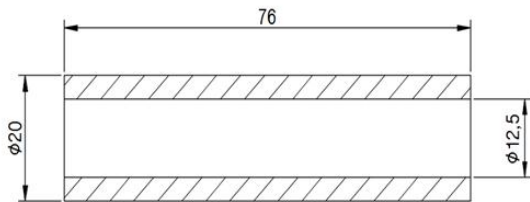


Fig. 6 machining drawing

2.3 절삭공구

본 실험에 사용된 공구는 캄드릴 $\phi 11.8\text{mm}$ 를 이용하여 1차 가공하였으며, 2차 가공을 위해 형번은 S06H-STLBR/L-06-SP의 스틸샤크 타입에 서멧 공구인 TBGT 060104L CN2000 인서트를 체결하였다. 서멧 인서트는 매우 우수한 칩처리 능력을 가진 초정삭 가공용으로 정삼각형 60° 포지티브, 측면여유각 5°의 경사각을 가지고 있으며 추천 이송속도는 0.08 - 0.20mm/rev, 절입량은 0.10 - 1.30mm를 추천하고 있으며, Table 4에 규격을 나타내고 있다.

내경 바이트인 스틸샤크 타입으로 형번은 S06H-STLBR/L-06-SP에 인서트를 절입각 95°로 체결하였고 체결된 이미지는 Fig. 7에 표시하였다.

Table 5 Dimension and shape of lathe inner diameter tip(mm)

Inner Diameter Tip		
material	Cermet	
TIP Standard	TBGT 06104L CN2000	
d [mm]	t [mm]	d1 [mm]
3.97	1.59	2.16

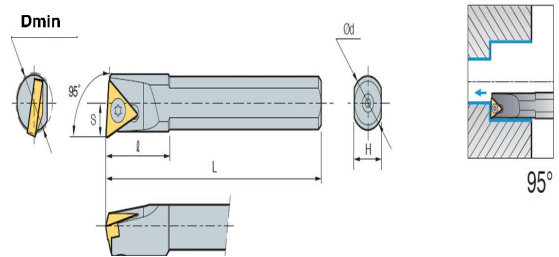
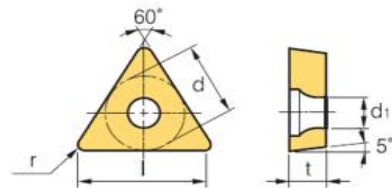


Fig. 7 Image of Combining Holder and Insert

3. 실험방법 및 고찰

3.1 실험방법

CNC 자동선반으로 초기 드릴가공은 $\phi 11.8\text{mm}$ 를 이용하여 깊이 76mm 관통 후 서멧 공구를 이용하여 내경 가공하였다. Fig. 8에서와 같이 긴 원자재를 기계의 소재 위치에 삽입하면 기계는 spindle collet과 guide bush를 이용하여 자동으로 잡아준 후 프로그램에 의하여 가공되어 원하는 가공 길이 만큼 절단한다. 절단후 다음 부품을 자동 생산하는 방식으로 이루어진다.

일반적인 절삭가공의 경우 회전수는 높고 이송속도가 낮았을 때 최적의 절삭 조건이지만 소형 깊은 홀의 경우 회전수를 높게 설정하였을 경우 공구의 날 끝 반지름 부위가 뭉개 지는 현상이 발생하여 회전수 3200rpm은 회전수를 1000단위로

조절하여 선 가공 후 소음이나 진동이 일어나지 않는 조건을 찾기 위해서 선행 회전수로 테스트 가공 시 소음 소리로 3200rpm으로 선정하였다.

한국야금에서 실험한 데이터에서 절삭 깊이는 0.1~1.3mm, 이송 속도는 0.08~0.20mm/rev를 추천하고 있어 선행연구를 가공하였으나 절삭깊이가 깊은 홀 가공 시 공구 홀더의 지름이 6mm 정도로 작아서 공구 홀더의 떨림 현상으로 소음이 발생하여 회전수 3200rpm과 절삭 깊이를 0.5mm로 고정하여 이송 속도에 따른 표면거칠기와 진직도 및 가공치수 정밀도로 가공 특성을 연구하고자 하였다.

이송 속도는 0.05, 0.1, 0.15mm/rev로 변경하여 시편 15개를 측정하였으며, 표면거칠기 측정은 같은 조건으로 15개의 시편을 가공하여 길이 방향으로 1/2 절단하여 처음과 중간, 마지막 3부분을 측정하여 평균 데이터를 이용하여 분석하였다.

3번에 걸쳐 측정한 평균 결과는 Table 5에 표시하였다.

3차원 측정기를 이용하여 치수 정확도 및 직진도를 측정한 결과는 Table 6, Table 7에 표시하였다.

3.2 실험고찰

CNC 자동선반기계를 이용하여 SCM415강의 소형 깊은 내경 홀을 서멧 인서트로 절삭 가공시 회전속도 3200rpm, 절삭깊이 0.5mm로 설정하여 이송속도 0.05, 0.1, 0.15mm/rev씩 변경하여 실험한 결과 Fig. 9에 나타난 것과 같이 처음 절삭가공 하였을 때는 이송 속도가 낮을수록 표면거칠기가

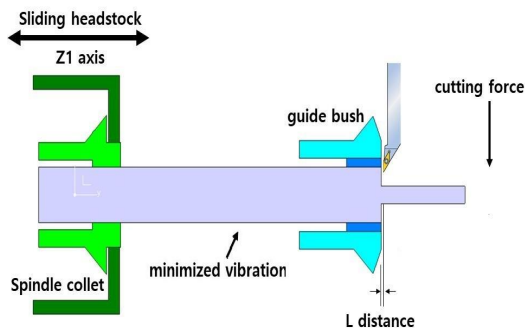


Fig. 8 Image of cutting machining inside machine

Table 5 Measurement result(surface roughness)

No.	Feed rate [mm/rev]	Average value[μm]		
		F0.05	F0.1	F0.15
	Cutting count	1	2	3
1		0.681	0.992	1.099
2		0.871	1.096	1.361
3		0.874	0.939	1.006
4		1.254	1.064	1.316
5		1.511	1.183	1.283
6		1.527	1.394	1.527
7		1.692	1.513	2.080
8		1.831	1.616	1.583
9		2.019	1.502	1.333
10		1.957	1.590	1.590
11		2.582	1.658	1.558
12		2.154	2.029	1.719
13		2.169	2.435	2.169
14		1.333	2.411	1.977
15		1.212	2.066	1.363

Table 6 Measurement result of dimensions accuracy

No.	Feed rate [mm/rev]		
	F0.05	F0.1	F0.15
1	12.4998	12.4999	12.4993
2	12.5134	12.5012	12.5145
3	12.5020	12.5011	12.5071
4	12.5006	12.4997	12.5039
5	12.5018	12.5003	12.5062
6	12.5222	12.5125	12.5457
7	12.5281	12.4972	12.5314
8	12.4980	12.5010	12.4918
9	12.5016	12.5006	12.5094
10	12.4943	12.5001	12.5015
11	12.4939	12.5001	12.5012
12	12.4959	12.5018	12.5040
13	12.5043	12.5004	12.4971
14	12.4959	12.5011	12.5046
15	12.4954	12.5008	12.5046
Average	12.5031	12.5012	12.5082

Table 7 Measurement result of dimensions straightness

No.	Feed rate [mm/rev]		
	F0.05	F0.1	F0.15
1	0.0012	0.0017	0.0107
2	0.0055	0.0064	0.0076
3	0.0036	0.0069	0.0096
4	0.0062	0.0167	0.0167
5	0.0043	0.0051	0.0053
6	0.0054	0.0042	0.0060
7	0.0057	0.0148	0.0065
8	0.0077	0.0078	0.0098
9	0.0087	0.0082	0.0097
10	0.0101	0.0047	0.0107
11	0.0111	0.0079	0.0091
12	0.0098	0.0056	0.0065
13	0.0065	0.0057	0.0077
14	0.0121	0.0068	0.0089
15	0.0126	0.0066	0.0068
Average	0.0074	0.0073	0.0088

에 따른 표면거칠기는 0.1mm/rev가 우수함을 알 수 있다.

이송 속도 0.05mm/rev에서 가공 횟수에 따른 표면거칠기의 변화는 일정하게 나타났으나 11번째부터의 변화는 공구가 일정량 마모가 일어났음을 알 수 있다.

이송 속도 0.1mm/rev일 때 표면거칠기는 가공 횟수가 늘어날수록 서서히 거칠어져서 가공 횟수에 따른 표면거칠기가 일정함을 알 수 있다.

이송 속도 0.15 mm/rev에서는 7번째 시편부터는 표면거칠기가 일정치 않으며, 거칠기값이 증가와 감소의 요동을 치고 있어 공구마모가 일정량에 도달하였음을 알 수 있다.

3차원 측정기를 이용하여 $\varnothing 12.5\text{mm}$ 치수를 측정한 결과는 Fig. 10에 표시하였으며, 치수 정확도를 분석하여 보면 첫 번째 가공시 정밀도는 유사하나 가공횟수가 많아짐에 따라 이송 속도 0.1mm/rev에서 $\varnothing 12.5\text{mm}$ 에 가장 근접한 것으로 보아 가장 이상적인 조건임을 알 수 있다.

절삭 횟수에 따라 치수 정밀도는 6~9번째 가공시 변화가 많이 일어나는 것으로 보아 공구 마모

는 이때부터 진행되어 10번째 가공부터는 오차범위가 일정함을 알 수 있다.

전체적으로 오차범위는 3/1000에서 7/1000 정도로 소형홀을 가공하였지만 $\varnothing 12.5\text{mm}$ 에 가깝게 가공 되었음을 나타내고 있다.

시편 번호에 따른 치수 정확도와 직진도 값을 Fig. 11과 Fig. 12와 같이 그래프로 나타내었다. 치수 정확도는 이송 속도에 관계없이 오차범위가 -0.0125mm에서 +0.0457mm까지의 범위로서 $\varnothing 12.5\text{mm}$ 에 가깝게 가공되었음을 알 수 있었다.

그러나 이송 속도 0.05mm/rev와 0.15mm/rev에서 6번째와 7번째 시편은 오차범위에는 들어가지만 전체적으로 곡선이 튀는 현상이 발생했다. 또한 치수 정확도를 분석하여 보면, 그중에서도 이송속도 0.1mm/rev 첫번째와 두번째 가공에서 $\varnothing 12.5\text{mm}$ 에 가장 근접한 것으로 보아 공구 마모가 진행됨에 따라 오차범위는 일정하게 늘어나고 있음을 알 수 있다.

또한 3차원 측정기를 이용하여 직진도 값을 그래프로 나타낸 Fig. 10에서와 같이 직진도를 분석하여 보면 이송속도 0.15mm/rev에서는 약 1/100 정도의 튀는 구간이 많이 발생된 반면, 이송속도가 0.1mm/rev일 때는 4번째와 7번째 시편에서 튀는 구간이 발생되고 있다는 것을 알 수 있다.

4번째와 7번째에서 그래프가 튀는 구간이 발생하는 이유는 소형 깊은 내경홀 가공에서 절삭공구의 칩브레이크로 일정량의 길이로 칩을 절단하면서 가공하는데 칩을 완벽하게 끊지 못하여 칩이 말리는 현상이 발생하였다.

소형 깊은 홀에서 칩이 제대로 배출이 되지 못함으로 인하여 튀는 구간이 발생 되는 것을 알 수 있었다.

칩으로 인해 발생하는 튀는 구간은 소형 홀일 때 절삭유 노즐의 압력을 높게 설정하여 가공하면 감쇄시킬 수 있음을 알 수 있었다.

진직도는 이송속도 0.1mm/rev과 0.05mm/rev일 때 우수한 것으로 보아 이송 속도가 낮을수록 진직도 특성은 좋은 것으로 나타남을 알 수 있다.

전체적으로 8/1000mm 이내의 직진도성을 보이므로 직진도는 대체로 우수하게 나타나고 있음을 알 수 있었다.

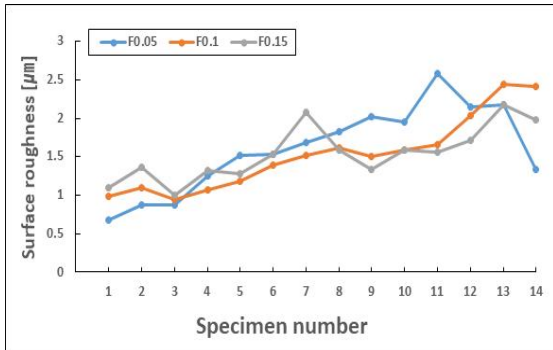


Fig. 9 Surface roughness depending on feed rate

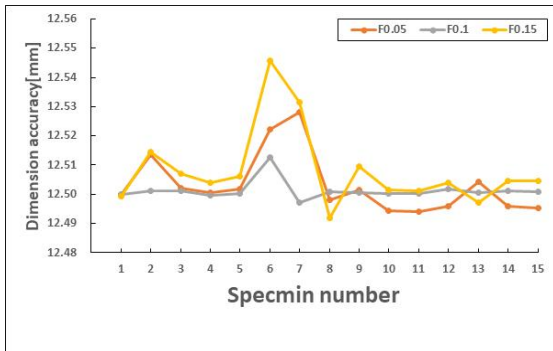


Fig. 10 Dimensions accuracy depending on feed rate

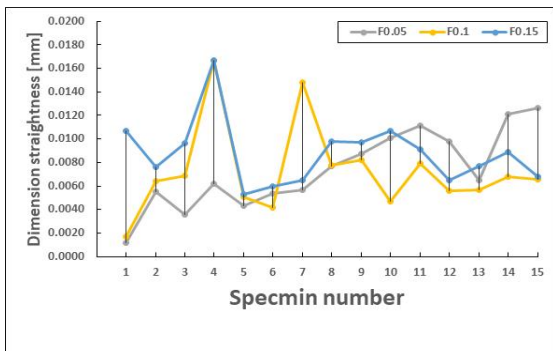


Fig. 11 Dimensions straightness depending on feed rate

4. 결 론

본 논문에서는 CNC 자동선반을 이용하여 서멧 인서트를 이용하여 SCM415강의 소재를 이용하여 소형 깊은 내경홀 가공시 회전속도 3200rpm, 절삭

깊이 0.5mm로 고정하고 이송 속도는 0.05, 0.1, 0.15mm/rev씩 변경하여 실험한 결과는 다음과 같은 결과를 얻을 수 있었다.

1. 이송 속도가 낮을 때, 처음 절삭 가공하였을 때 표면거칠기가 가장 우수하게 나타남을 알 수 있었다.
2. 소형 깊은 홀에서 칩 배출이 되지 않아 튀는 구간이 발생시 절삭유 노즐의 압력을 높게 설정하여 가공시 감쇠시킬 수 있었다.
3. 가공 횟수에 따른 SCM415강의 최적의 절삭가공은 절삭속도는 3200rpm, 이송속도 0.1mm/rev일 때 표면거칠기가 우수함을 알 수 있었다.
4. 치수정밀도는 처음 절삭 하였을 때 마이너스 공차에서 가공 횟수에 따라 플러스 공차로 변화 하였고, 전체적으로 이송 속도에 관계없이 매우 우수하게 나타나고 있음을 알 수 있었다.
5. 진직도는 절삭속도 3200rpm, 이송속도 0.1mm일 때 진직도가 우수함을 알 수 있었다.
6. 가공횟수가 많아 질수록 최적의 절삭조건은 이송속도 0.1mm/rev임을 알 수 있었다.

REFERENCES

1. Lee, Y. C., Kwak, T. S., Kim, G. N., Lee, J. R., "High-speed Machining Technology using CNC Machining Center Equipped with Attachment Type High-Speed Spindle", Journal of the Korean Society of Manufacturing Process Engineers, Vol. 11, No. 2, pp. 152-158, 2012.
2. Doo, S., Hong, J. W., Suh, N. S., "A Study on the Cutting Force and Machining Error on the Inclined Plane in Ball-end Milling", Journal of the Korean Society of Manufacturing Process Engineers, Vol. 18, No. 7, pp. 112-119, 2001.
3. Choi, J. G., Kim, H. S. and Kim, S. C., "A Study on the Optimum Finish Allowance for Machining Accuracy Improvement in the End Milling Processes", Journal of the Korean society of machine tool engineers, Vol. 13, No. 3, pp. 8-14, 2004.
4. Chung, M. S., "A Study on Transition of

- Dimension Error and Surface Precision in High Speed Machining of Al-alloy”, Journal of the Korean Society of Manufacturing Technology Engineers, Vol. 9, No. 3, pp. 96-102, 2000.
5. Yoon, J. H., Seo, S. W. and Lee, H. C., “A Study on the Effect of Dimensional Errors and Roundness in High Speed Cylindrical Machining of Al-alloy”, Journal of the Korean society of machine tool engineers Vol. 10, No. 5, pp. 17-27, 2000.
 6. Shin, M. J., "A Study on the Machined Characteristics of SCM415 Steel Cutting", A Thesis for a Master, Kyeongnam National University, Republic of Korea, 2013.
 7. Hong. B. Y.(2015), “ Mechanical load and cutting shape in turning operation”, 10, May, 2015 from <http://kidd.co.kr/news/179794>
 8. Kim, W. I., Lee, Y. K., Wang, D. H., Kim, G. N., Lee, S. B., "The Influence of Surface Roughness according to Density of Cutting Fluids in Turning Operation", A Thesis for a Master, Kyeongnam National University, Republic of Korea, 2013.