

선삭가공에서의 인서트 팁의 마모분석과 칩의 형상에 관한 연구

박동근¹, 이준성^{1*}, 조계현²

¹경기대학교 기계시스템공학과, ²경기대학교 대학원 기계공학과

A Study on the Wearing Analysis of Insert Tip and Chip's Shape in Turning Operations

Dong-Keun Park¹, Joon-Seong Lee^{1*}, Gye-Hyeon Jo²

¹Dept. of Mechanical System Engineering, Kyonggi University

²Dept. of Mechanical Engineering, Graduate School, Kyonggi University

요약 상품을 제조할 때 유연성을 높이기 위해서는 칩의 형상분석이 중요한 문제 중의 하나이다. 본 연구에서는 선삭 작업에서 가공 여유각 변경에 따른 피삭재의 가공특성이 어떻게 변화되는지 분석하고 자 하였다. 피삭재는 3가지로 SM45C(기계구조용탄소강), SCM415(크롬몰리브덴강), STS303(스테인리스강)을 선택하여 정해진 가공조건인 회전속도, 이송속도와 가공깊이에 따라 분석하였다. 특히, 선삭가공에서의 칩의 형상과 인서트 팁의 마모현상을 분석하였다. 결과적으로 칩의 형상은 피삭재의 재질과 가공깊이, 이송속도에 따라 변화됨을 알 수 있었다. 가공이송속도가 0.10mm/rev일 때와 가공깊이 0.3mm일 때가 유동형 칩으로 재질이나 가공특색을 분류하지 않고 가장 좋은 형상을 보였다.

Abstract In order to achieve high flexibility in manufacture, analysis of chip's shape is one of the most important problems. This paper describes the change of machining characteristics in workpiece materials depending on turning clearance angle. The experiments start from choosing three workpiece materials that are SM45C(machine structural carbon steel), STS303(stainless steel), SCM415 (chrome-molybdenum steel). Then, the experiments show specifically how features of selected materials changed when they were processed with diverse machining depths and with feed rate starting from fixed rotational speed. Especially, the experiments were also analyzed in chip's shape and wear of insert tip. In conclusion, these experiments show that chip's shape was changed by quality of the materials, depth of cut, and conveying speed. When machining feedrate and machining depth were 0.10mm/rev and 0.3mm respectively, workpiece materials showed the best shapes, not categorizing quality of the materials and machining characteristics.

Key Words : CNC Turning, Workpiece Material, Feed Rate, Turning Operation

1. 서론

공작기계의 발전과 같이 동반 발전을 해야 하는 것이 바로 공구들이다. 공구들이 발전하지 못한다면 아무리 좋은 공작기계라 할지라도 자기성능을 발휘하지 못할 것이다. 이처럼 절삭공구를 사용하는 가공을 기계절삭가공

이라 하고 이런 가공에선 일반적으로 환봉, 각재, 판재 등의 소재를 가공한다. 그중에 절삭가공의 기초가 되는 선삭인 선반가공으로 바이트공구를 이용하여 공작물들을 가공하다 보면 공작물의 재질별로 공구를 바꾸어서 같은 형태에 외형가공이지만 여러 가지의 공구들을 사용해야 하는 불편한 작업들을 해야만 한다[1,2]. CNC선삭

본 연구는 2014학년도 경기대학교 대학원 연구원장학생 장학금 지원에 의하여 수행되었음

*Corresponding Author : Joon-Seong Lee(Kyonggi Univ.)

Tel: +82-31-249-9813 email: jslee1@kyonggi.ac.kr

Received November 24, 2014

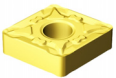
Revised January 5, 2015

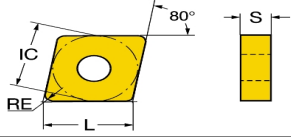
Accepted April 9, 2015

Published April 30, 2015

삭용으로 사용하기 위하여 사용한 인서트 팁은 SANDVIK Coromant에서 판매하는 CNMG-MF 고성능 터닝을 위한 인서트 팁을 사용하였고 기초가공을 제외한 정삭 및 시험가공을 하고자 한다. Table 2는 인서트 팁의 제원을 나타낸 것이다. 팁 두께는 4.762mm이고 특징으로 소개되는 것은 강한 모서리 절삭과 양면사용이 가능하고, 레버접근성 향상을 위하여 건식성 가공을 하며, 몇 가지 클램프를 사용할 수 있으며 습식가공방식으로 고압절삭유 가공을 위한 정밀노즐과 최적화된 형상의 팁으로 소개되고 있다.

Table 2. Specifications of CNMG 120404 MF insert tip

Explanation of Products	Shape		
T-Max® P insert for turning			
Standard	IC Inscribed circle	RE Corner radius	L Diagonal length
CNMG-MF	12.7mm	0.4mm	12.8959mm



사용된 시험재료로는 SM45C, SCM415, STS303 등의 3종류로써 기초 가공용 CNC데이터를 코딩하고 각 재료별로 정삭가공을 위한 코딩작업을 다시 하여 실험데이터를 얻고자 하였다. Table 3은 선택 시험재료에 대한 기계적 성질을 나타낸 것이다.

Table 3. Material properties

Materials	SM45C	SCM415	STS303
Specific gravity [g/cc]	7.85	7.85	8
BHN	170	197	160
RHN (B Scale)	86	92	83
Max. tensile strength [MPa]	585	731	620
Yield Stress [MPa]	505	380	240
Young's Modulus [GPa]	205	205	193
Poisson's ratio	0.29	0.29	0.25

3. 시험방법

기초 가공의 기준 시편을 측정하여 기준을 세우고 정밀 측정용 데이터를 이용하여 시험용 시편을 제작하였다.

3.1 기초시편 가공방법

본 연구에 필요한 측정용 시험편을 만들기 위해서 재료를 우선적으로 선정하고 물성치에 대하여 알아보았다. 그 후 가공에 필요한 도면을 작성하여 SM45C, SCM415, STS303 3종류의 재료를 가공하였다.

우선 Fig. 4와 같이 기초가공을 하는 이유는 시험재료의 표면 경도와 강도 값이 제조과정 또는 유통과정에서 다른 값을 갖고 있을 수 있기 때문이다. 겉 표면과 측정 부분의 분리, 명확성 그리고 측정장비의 측정방식에 부합되는 모양을 연구한 결과 필요한 형상이라 생각되어 Fig. 4와 같이 결정하였다. 시험편을 가공하기 위한 NC 프로그램은 Table 4로 가공업체와 상의하여 직접 코딩하였다. 가공에 필요한 절삭조건은 2,500 rpm과 이송속도 0.15 mm/rev 가공속도를 제어하였고 고속가공의 열변형을 최소화하기 위하여 수용성 절삭유를 사용하여 가공하였다.

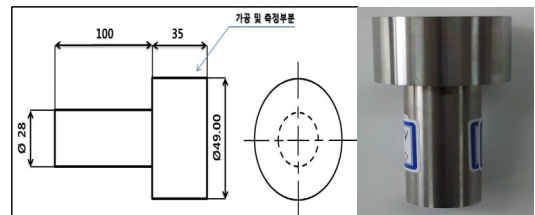


Fig. 4. Shape and drawing for processing basis

Table 4. NC data for processing basis

Coding #	Data for processing basis	Explanation
N01	G28 U0 W0;	Home Position
N02	T0202;	Tool Selection
N03	G97 S2500 M03 ;	Main Velocity Control Off
N04	G41;	Correction/ Left
N05	G00 X52. Z0. M08;	Positioning
N06	G01 X0. F0.15;	
N07	W1.;	
N08	G00 X51. Z1.;	
N09	G71 U1.5 R1.;	Rough Grinding Cycle (from N10 to N20) Repeat Training
N10	G71 P10 Q20 U0.1 W0.05 F0.15;	
N11	N10 G00 X26.;	
N12	G1 Z0.;	
N13	G03 X30. W-2. R2.;	
N14	G01 Z-65.;	
N15	X46.;	
N16	G03 X50. W-2. R2.;	
N17	G01 U0.5 W-1.;	
N18	N20 U0.5;	
N19	G40;	Cancellation of Correction
N20	G00 X100. Z100. M05;	Rapid Feedrate
N21	M30;	End of Program

3.2 기초시편 가공방법

앞 절의 기초가공용 시험편이 완성되면 실질적인 연구와 측정에 사용될 시험편을 제작하기 위하여 시험편용 가공조건을 결정하여야 한다. 측정용 시험편의 가공조건으로 3종류 재료에 대해 가공깊이를 0.1 mm, 0.2 mm, 0.3 mm로 결정하고 가공에 따른 이송속도를 0.07 mm/rev, 0.10 mm/rev 으로 각각 결정하였다. 또한 인서트 바이트의 인선높이, 절인 경사각, 전면 여유각 등이 동시에 변화가 되는 팁 받침인 시트의 각도를 최초 가공하지 않은 0.0°, 그리고 -0.3°, -0.9°로 받침 시트를 가공하여 3종류의 재료를 각각 18개씩 54개의 시험편을 가공하였다.

4. 실험 결과

4.1 가공에 따른 형상분석

3종류의 재료를 가공하면서 가공과정이 끝나면 절삭분(칩)을 분류하여 모아 두는 과정을 각 시료별로 종료 시까지 반복하여 분류하면서 그 특성을 비교 분석하였다. 하나의 예로 각 재료에 대해 가공깊이가 0.3mm에 대한 칩형상 결과를 Fig. 5에 나타내었다.

SM45C F=0.07 Depth: 0.3 mm			SM45C F=0.10 Depth: 0.3 mm		
0.0°	0.3°	0.9°	0.0°	0.3°	0.9°
SCM415 F=0.07 Depth: 0.3 mm			SCM415 F=0.10 Depth: 0.3 mm		
0.0°	0.3°	0.9°	0.0°	0.3°	0.9°
STS303 F=0.07 Depth: 0.3 mm			STS303 F=0.10 Depth: 0.3 mm		
0.0°	0.3°	0.9°	0.0°	0.3°	0.9°

Fig. 5. Chip's shape for depth 0.3mm

비교 분석한 결과를 요약하면, 첫째, 시험 피삭재별 기준에서 관찰하여 본다면 SM45C, SCM415, STS303 재질들의 절삭 칩 가공 배출 형상은 매우 흡사하게 진행

됨을 알 수 있다.

둘째, 시험 피삭재별 이송속도(0.07 mm/rev, 0.1 mm/rev)와 절삭깊이(0.1 mm, 0.2 mm, 0.3 mm)의 차이로 절삭 칩 형상을 분류하고 관찰하여 본다면 절삭깊이 0.1 mm 일 때는 재질의 종류와 관계없이 약간의 전단형에서 유동형으로 감기는 현상을 미세하게 보이고, 점차 절삭깊이가 0.2 mm, 0.3 mm로 커짐에 따라 스프링처럼 꼬이는 유동형 칩으로 변화됨을 알 수 있었다.

또한, SM45C와 SCM415 두 재질은 비슷하게 변화되는 양상을 띠고 있으나 STS303의 경우 절삭깊이 0.1 mm, 0.2 mm를 살펴보면 크게 변화하지 않고 0.3 mm일 때만 확실한 유동형 칩 형상을 보이고 있다.

4.2 측정에 따른 형상분석

주사 전자 현미경(SEM)의 경우 시료를 시험편에 양면테이프를 부착하여 시료 교환 장치 내부에 넣고 수동 조작 패널을 이용하여 위치결정을 한다. 측정하고자 하는 절삭 칩의 형상이 가장 잘 표현되는 배율을 결정하여 촬영한다.

절삭 칩의 육안으로 분류하는 형태만으로 명확히 판단하기 곤란하여 전자현미경으로 1,000배율 확대하여 칩의 내면과 외면을 위의 가공에 따른 형상분류와 같은 방식으로 분류하고 관찰하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

첫째, 절삭 칩의 내면과 외면을 Fig. 6과 Fig. 7을 보면 확연히 구분되어 내면의 경우 절삭공구인 바이트가 직접 접촉이 되어 시험재료를 바이트 팁의 절삭날 끝으로 깎아낸 형상으로 일자 모양에 줄무늬 형태로 일정하다.

둘째, SM45C와 SCM415는 특징을 구분할 수 없으나, STS303의 경우 일자줄무늬가 명확하지 않고 여러 부분별 밀리는 현상으로 균열형 칩의 형상을 부분적으로 보이고 있다. 이런 현상은 다른 재질보다 물성치가 강하여 나타나는 형상이라 판단되어 지며 스테인리스강의 고유 성질로 보여 진다.

셋째, 절삭 칩의 외면의 경우는 직접 절삭공구인 바이트가 접촉되는 부분이 아니라 유동형 칩의 형상을 만드는 모양으로 안쪽으로 접혀 말리는 형상으로 그 유형에 따라 접히는 골의 크기가 촘촘함과 굵기의 형상으로 분리되어 지고 있다. 특히 SM45C와 SCM415는 비슷한 유형의 형상으로 구분되어 지고 있으나, STS303은 한눈에 봐도 그 재료의 특징이 확연히 드러나고 있다.

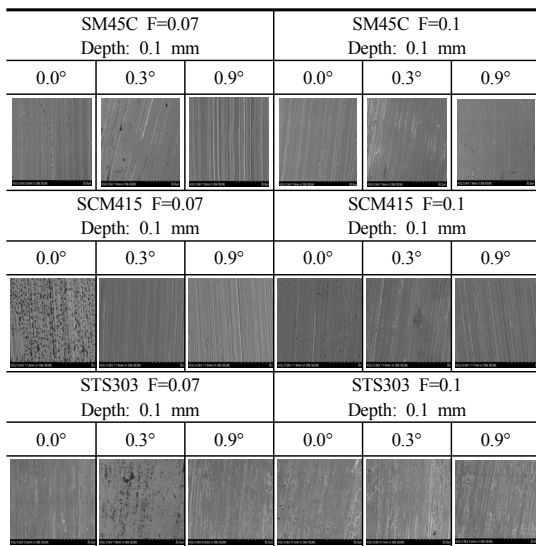


Fig. 6. Measurement shape of cutting inner side

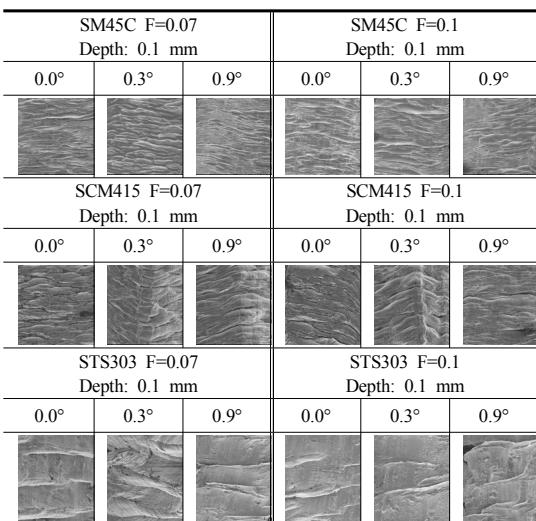


Fig. 7. Measurement shape of cutting external side

4.3 인서트 팁의 마모분석

시험편 가공에 쓰인 절삭공구인 외경 선삭용 인서트 바이트의 마모분석을 위해서 전자현미경을 이용하여 각 재료별로 가공 팁을 결정하여 절삭작업을 하여 Fig. 8과 같은 결과를 얻었다. 이것은 몇 가지 형태의 마모분석이 있어야 하는 데 단순히 재료별 팁의 마모분석만을 가지고 분류하였으며, 그 결과는 다음과 같이 분석되었다.

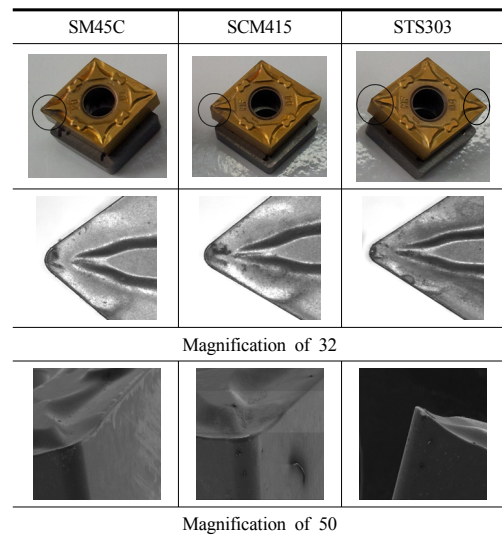


Fig. 8. Picture of insert tip using SEM

첫째, SM45C를 전용으로 가공한 팁의 형상을 분석하면 플랭크 마모(flank wear)의 모습이 보이기 시작함을 알 수 있다. 이것은 재료의 경도가 높고 절삭공구의 경도가 낮은 경우와 평면상태가 불균일하고 표면 경화된 재료를 가공 시 선단부분에 미세마모가 일어나며 절삭속도가 너무 무르거나 여유각이 너무 작고, 이송량이 극단으로 너무 낮은 경우 발생하는 현상이다.

둘째, SCM415를 전용으로 가공한 팁의 형상을 분석하면 가공접속 면적이 약간 뭉뚱해 지려는 모습이 보이기 시작함을 알 수 있다. 이것은 경계마모가 시작되는 현상이라 여겨지며 이런 현상은 흑표피, 질화부 및 가공경화층 등 표면이 단단한 재료에서 발생하곤 한다.

셋째, STS303을 전용으로 가공한 팁의 형상을 분석하면 칩핑(chipping) 현상이 일어났음을 알 수 있다. 이 현상은 팁의 모서리가 작은 조각으로 떨어져 나가는 현상을 말하며, 매우 단단한 재료를 가공하거나 공구재질이 너무 단단하고 이송량이 크며, 절인강도의 부족과 인서트 홀더의 강성이 부족한 경우이다.

위의 내용을 살펴보면 시험재료들을 가공한 인서트 바이트 팁의 표면에 약간의 열 변형과 코팅 정도는 손상됨을 확인할 수 있으나, 세 가지 형태로 분류한 팁의 마모상태는 초기단계의 마모 모습이거나 인서트 바이트 팁 사용 수명이 충분이 남아 있는 상태로 하겠다. 하지만, STS303을 가공한 인서트 바이트 팁은 칩핑에 의한 파손으로 반대편으로 몇 개의 부품을 재가공하게 되었다.

5. 결론

본 연구에서는 선삭가공의 외형가공용 공구인 인서트 바이트로 가공 여유각인 절인 경사각을 변경하고, 절삭 속도, 이송속도를 변경해 가면서 가공하였을 때 가공특성을 분석하였다. 3가지 재질은 SM45C, SCM415, STS303을 선택하여 절삭 칩을 이송속도별, 가공깊이별, 변경 각도별 분류하여 형상에 따라 비교해 보았다. 가공이송속도가 0.10 mm/rev일 때와 가공깊이 0.3mm일 때가 유동형 칩으로 재질이나 가공특색을 분류하지 않고 가장 좋은 형상을 보였다. 또한, SM45C, SCM415 재질은 물성치가 단단하고 강성이 높아 이송속도에 대한 형상변화가 명확히 나타났으며, STS303의 경우 단단하긴 하나 강성이 낮아 밀리는 현상이 보였다.

그리고, 바이트 팁을 주사 전자 현미경으로 촬영한 결과 SM45C를 가공한 팁은 플랭크 마모 현상, SCM415를 가공한 팁은 경계마모, STS303을 가공한 팁은 치평 현상에 초기단계의 마모상태를 파악할 수 있었다.

References

- [1] Whang B. C., "Effects of the cutting condition on tool life and surface roughness", Master Thesis, Kyungil University, 1993.
- [2] Lee, Y. C., "CAD/CAM Script Application Techniques for Addition Axial Application of CNC M/C", *J. of the KAIS*, Vol. 10, No. 6, pp. 1157-1163, 2009.
DOI: <http://dx.doi.org/10.5762/KAIS.2009.10.6.1157>
- [3] Kim, G. C., "Effect of the Bite Angle on the Surface Roughness of Workpiece Material in CNC Turning", Master Thesis, Kyonggi University, 2013.
- [4] Kyocera Precision Tools Korea, "2012-2013 Kyocera Cutting Tool", Catalog, pp. B1-D4, 2011.

박 동 근(Dong-Keun Park)

[정회원]



- 2005년 2월 : 경기대학교 기계시스템공학과 (공학사)
- 2009년 2월 : 경기대학교 건설·산업대학원 (공학석사)
- 2014년 2월 : 경기대학교 대학원 기계공학과 (공학박사)

<관심분야>

CNC터닝센터, 공작기계, 생산자동화, CAD

이 준 성(Joon-Seong Lee)

[정회원]



- 1988년 2월 : 성균관대학교 대학원 기계공학과 (공학석사)
- 1995년 9월 : 동경대학교 (공학박사)
- 1988년 7월 ~ 1991년 7월 : 육군사관학교 교수부 기계공학과 교수
- 1996년 3월 ~ 현재 : 경기대학교 기계시스템공학과 교수

<관심분야>

최적설계, 구조물 안전성 평가, Neural Network

조 계 현(Gye-Hyeon Jo)

[준회원]



- 2014년 2월 : 경기대학교 기계시스템공학과 졸업 (공학사)
- 2014년 3월 ~ 현재 : 경기대학교 대학원 기계공학과 (석사과정)

<관심분야>

유한요소해석, 구조물 안전성 평가