

초경피복공구를 이용한 기계구조용 탄소강의 단속절삭시 표면거칠기 예측

배명일*, 이이선#

(* 충남대학교 사범대학 기계금속공학교육과, # 충남대학교 기계공학과)

Surface Roughness Prediction of Interrupted Cutting in SM45C Using Coated Tool

Myung-II Bae*, Yi-Seon Rhie#

(Received 28 April 2014; accepted 17 June 2014)

ABSTRACT

In this study, we carried out the interrupted cutting of carbon steel for a machine structure (SM45C) with a CVD-coated tool and conducted an ANOVA test and a confidence interval analysis to find factors influence the surface roughness and to obtain a regression equation. We found that factor which mostly affects the surface roughness during interrupted cutting was the feed rate. The cutting speed and depth of the cut only had small effect on the surface roughness. From the result of a multi-regression analysis during an interrupted cutting experiment, we obtained regression equation. Its coefficient of determination was 0.918, indicating that the regression equation was predictable. Compared to continuous cutting, if the feed rate increases, the surface roughness will also increase during interrupted cutting.

Key Words : carbon steel for machine structure(SM45C, 기계구조용탄소강), Confidence Interval(신뢰구간), Regression Equation(회귀방정식)

1. 서 론

연속절삭에서는 절삭공구에 전해지는 충격이 없기 때문에 경도가 높은 세라믹, CBN 등의 절삭공구를 이용하여 가공정밀도를 높일 수 있는 장점을 가지고 있다. 그렇기 때문에 표면 마무리 공정

으로 사용되고 있는 연삭공정을 대체할 수 있을 것으로 생각되어지고 있다. 연삭가공은 가공 중 연삭숫돌과 공작물이 접촉하여 가공이 이루어기 때문에 연삭입자가 탈락되고 탈락된 연삭입자의 일부는 연삭숫돌에 부착되어 연삭숫돌의 눈메움 현상을 발생시킨다. 표면정밀도를 향상시키기 위하여 절삭유를 사용하는 경우 이 현상은 더욱더 심해진다. 이로 인하여 연삭 가공된 공작물의 표면 거칠기가 저하되고 가공정밀도를 떨어뜨리는 원인이 되기도 한다. 그러나 절삭가공에서는 연삭가공에서 발생하는 현상이 나타나지 않고, 쉽게

* Department of Mechanical & Metallurgical Engineering Education, Chung-nam National University

Corresponding Author :

Department of Mechanical Engineering,
Chung-nam National University
E-mail : ysrhie@gmail.com

가공할 수 있으며, 동일 공작기계를 이용하여 다양한 표면거칠기의 공작물을 제조할 수 있는 장점을 가지고 있기 때문에 표면 마무리공정에 적합하다고 할 수 있다.[1-3]

단속 절삭에서는 공구와 공작물이 주기적으로 접촉하고 분리되는 특성이 있기 때문에 공구와 공작물에 가해지는 힘이 연속적으로 변화하게 된다. 그렇기 때문에 기계적 충격에 의한 치핑(chipping), 공구파손현상이 연속절삭에 비하여 매우 심하게 나타나고 있으며, 이러한 현상은 단속절삭에서 표면 거칠기 및 절삭력을 증가시키는 원인이 되고 있다. 단속절삭은 기어, 스플라인 축 등 기계부분의 표면 형상이 연속적이지 않고 표면의 일부가 단절된 형상으로 이루어진 기계부품의 가공에 이용되고 있으며 가공 산업전반에 많이 행하여지고 있지만 이에 관한 연구는 그리 많지 않은 실정이다.[4-7]

따라서 본 논문에서는 기계구조용 탄소강에 절삭가공용 초경피복 공구를 이용하여 단속절삭실험을 실시하여 기계구조용 탄소강의 단속절삭시 양호한 표면 거칠기를 예측할 수 있는 회귀방정식을 구하여 기계구조용 탄소강의 단속절삭을 위한 한 데이터를 확보하고자 한다. 이를 위하여 실험계획법을 적용하였으며, 예비실험을 실시한 후 실험에 이용할 인자의 수준을 정하였다. 그리고 실험계획법의 직교 배열표에 의한 실험을 실시하였으며 실험으로부터 얻은 결과의 분산분석 및 신뢰구간 분석을 통하여 기계구조용 탄소강의 단속 절삭시 표면 거칠기에 영향을 미치는 인자를 도출하였다. 그리고 중회귀 분석을 통하여 표면거칠기를 예측할 수 있는 회귀방정식을 도출하였다.

2. 실험장치 및 방법

2.1 실험장치

실험에 사용된 공구는 (주)대구텍의 SNMG1204 04(TT7100)이며 CVD코팅된 초경공구로서 4mm의 공구인선 반경을 가지고 있다. 실험 중 공구의 교환은 공구인선의 탈락과 마모에 의한 표면 거칠기의 변화를 고려하여 1회의 실험이 끝난 후 교체하

였다. 초경공구는 대구텍의 PSSNR/L 2525M12 홀더에 장착하였다.

실험에 사용된 선반은 (주)화천기계의 HL 460×1000GN이며, 실험 중 시험편의 흔들림을 방지하기 위하여 주축에 시험편을 고정된 후 심압대를 이용하여 고정하였다. Fig. 1은 본 실험에 사용된 실험장치를 나타내고 있다.

Fig. 2는 실험에 사용된 시험편의 형상을 나타낸 것으로 500mm의 길이를 가진 $\varnothing 49.95$, $\varnothing 44.85$, $\varnothing 37.84$ 의 시험편을 CNC가공하여 준비 하였다. 각 시험편당 20mm길이의 단을 19개 가공하였으며, 단과 단사이의 거리는 4mm로 하였고, 건식절삭을 수행하였다. 그리고 키홈이 있다고 가정하여 깊이 5mm, 폭10mm의 홈을 가공하였다

절삭가공면의 표면거칠기 측정에 사용된 표면 거칠기 측정기는 Mitutoyo, SURFTEST SV-3100이다. 시험편의 측정 조건은 평가길이 4mm에 대하여 기준길이 0.8mm로 설정하였다. 시험편은 설정된 측정조건에 의하여 원통형 시험편을 3부분으로 분할하여 3회 측정을 실시하였으며, 측정된 표면 거칠기의 평균값을 결과분석에 이용하였다.



Fig. 1 Experimental setup

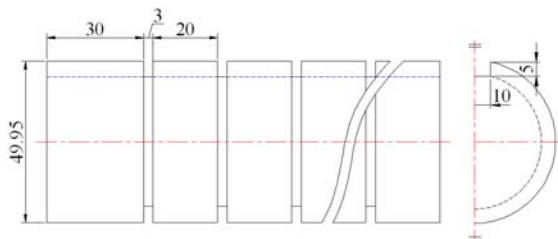


Fig. 2 Shape of specimen

2. 2 실험방법

본 논문의 절삭실험 조건선정은 실험 회수를 줄이고 효율적인 실험결과 분석을 위하여 실험 계획법을 이용하였다.^[8] 실험계획법을 적용하기 위하여 예비실험을 실시한 후 절삭속도, 이송률, 절삭 깊이에 따른 표면 거칠기의 변화를 파악한 후에 실험계획법에 필요한 인자순위 및 인자의 수준을 결정하였다. Table 1은 예비실험 조건을 나타내고 있다.

Fig. 3~5는 Table 3의 실험 조건을 이용하여 절삭가공 후에 얻은 예비실험 결과를 나타낸 것이다. Fig. 3은 절삭 깊이를 0.1mm, 이송율을 0.066 mm/rev으로 고정시킨 후 절삭속도를 60~140m/min까지 변화시키면서 얻은 실험 결과이다. Fig. 3에 나타난 것과 같이 절삭속도를 변화시키는 경우, 80m/min의 절삭속도에서 Ra값은 약간 낮아지고 100m/min의 절삭속도에서는 약간상승 하였다가 120m/min의 절삭속도에서 다시 낮아지는 결과를

Table. 1 Pre-experiment cutting condition

Cutting condition	
Cutting speed(mm/min)	60, 80, 100, 120, 140
Feed rate(mm/rev)	0.066, 0.105, 0.157, 0.209
Depth of cut(mm)	0.1, 0.2, 0.3, 0.4, 0.5

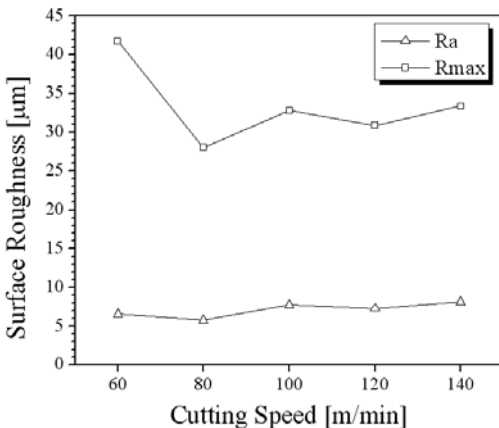


Fig. 3 Pre-experiment result of cutting speed

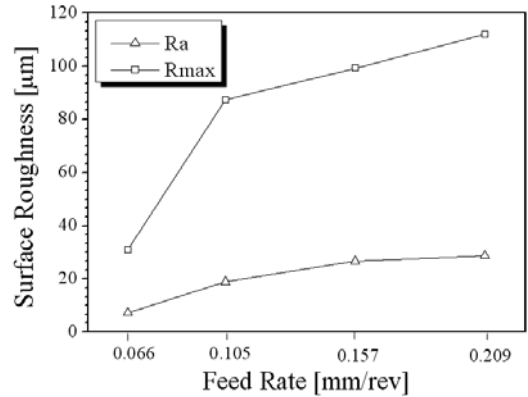


Fig. 4 Pre-experiment result of feed rate

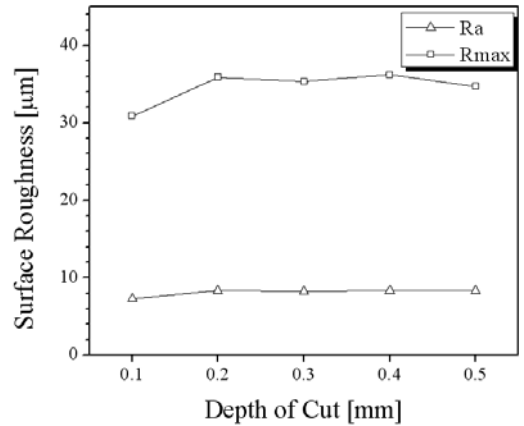


Fig. 5 Pre-experiment result of depth of cut

보이고 있다. 그리고 Rmax값은 80m/min의 절삭속도에서 급격히 낮아지며 100m/min이상의 절삭속도에서는 커지는 결과를 나타내고 있다. 절삭속도가 증가함에 따라 표면 거칠기 값은 점점 낮아지고 있다. 절삭속도가 증가함에 따라서 Ra 값의 변동이 크지 않은 것으로 볼 때 절삭속도의 변화는 표면 거칠기에 큰 영향을 미치지 않는 것으로 판단되며, 절삭속도 100~120m/min의 구간에서 가장 양호한 표면 거칠기를 얻을 수 있을 것으로 판단된다.

Fig. 4는 절삭속도를 120m/min, 절삭 깊이를 0.1mm로 고정시킨 후 이송율을 0.066~0.209mm/rev까지 변화시키면서 얻은 실험 결과를 나타낸 것이다. Fig. 4에 나타난 것과 같이 이송율이 커짐에

따라 표면거칠기 Ra, Rmax의 값의 변동폭이 커지는 것을 확인할 수 있다. 이는 이송율의 변화가 표면 거칠기값에 미치는 영향이 크다고 판단할 수 있으며 이송율 0.066~0.157mm/rev구간에서 양호한 표면 거칠기 값을 얻을 수 있을 것으로 판단된다.

Fig. 5는 절삭속도를 120m/min, 이송율을 0.066mm/rev로 고정시킨 후 절삭 깊이를 0.1~0.5mm로 변화시키면서 얻은 실험의 결과이다. 절삭깊이가 0.1mm일 때 얻을 수 있는 Ra값이 가장 작으며 절삭 깊이의 변화에 따른 표면 거칠기의 변동폭이 크지 않다는 것을 확인할 수 있다. 이것은 절삭깊이의 변화가 표면 거칠기 값에 미치는 영향이 적다는 것을 나타내고 있으며, 예비실험 결과로 볼 때 절삭깊이를 변화시키는 경우 양호한 표면 거칠기를 얻을 수 있는 절삭조건은 절삭깊이 0.1~0.3mm구간인 것으로 판단된다.

Table 2는 예비실험 결과를 분석하여 선정된 인자와 수준을 나타내고 있다. 실험은 3수준 3인자를 갖추었으며 A, B, C인자의 교호작용을 무시한 **Table 2 Factors and levers used in experiment**

Sign	Factors	Levels		
		0	1	2
A	Feed rate(mm/rev)	0.066	0.105	0.157
B	Depth of cut (mm)	0.1	0.2	0.3
C	Cutting speed(m/min)	120	100	80

Table 3 Orthogonal array table for L9(3³)

Expt. No.	Column Number		
	1	2	3
1	0	0	0
2	0	1	1
3	0	2	2
4	1	0	1
5	1	1	2
6	1	2	0
7	2	0	2
8	2	1	1
9	2	2	0
Factor Assigned	A	B	C

L9(33)의 직교 배열표를 사용하였다. Table 3에 본 실험에 사용된 직교 배열표를 나타내었다.

3. 실험결과 및 고찰

Table 4는 Table 3의 직교 배열표를 이용하여 실험을 실시한 후 측정된 표면 거칠기 Ra값의 분산 분석결과를 나타낸 것이다. Table 4에서 분산의 값은 이송율 199.604, 절삭 깊이가 31.48, 절삭속도가 9.636을 나타내고 있다. F0의 값은 이송율, 절삭 깊이, 절삭 속도의 순으로 값이 작아지는 것을 나타나고 있다. P검정의 값은 이송율이 0.031 절삭깊이 0.169 절삭속도 0.399로 나타나고 있다. 분산분석의 결과 초경 피복공구를 이용하여 기계 구조용 탄소강을 단속절삭 하는 경우 이송율이 단속절삭 가공면 표면 거칠기에 가장 많은 영향을 미치고 절삭깊이, 절삭속도는 이송율에 비하여 표면 거칠기에 주는 영향이 적은 것으로 판단된다.

Fig. 6~8은 중심선 표면거칠기 Ra에 대한 인자의 수준평균과 95% 신뢰구간을 나타내고 있다. Fig. 6은 이송율에 대한 수준평균과 신뢰구간을 나타내고 있다. 이송율의 경우 0.066mm/rev, 0.105mm/rev의 조건에서 데이터의 변동성이 작으며 0.157mm/rev의 경우 데이터의 변동성이 크게 나타나고 있다. 이는 0.157mm/rev의 이송율을 제외한 0.066mm, 0.105mm/rev의 조건이 표면거칠기에 미치는 영향이 크다는 것을 나타낸다고 분석 할 수 있다.

Fig. 7은 절삭속도에 대한 수준평균과 신뢰구간을 나타내고 있다. 절삭속도의 경우 80m/min의 절삭속도에서는 데이터의 변동성이 작으나100m/min, 120m/min의 절삭속도에서 데이터의 변동성이 크

Table 4 Analysis of Variance Table for surface roughness(Ra)

Factors	DF	S	V	F0	P
feed rate	2	399.208	199.604	31.26	0.031
depth of cut	2	62.907	31.454	4.93	0.169
cutting speed	2	19.272	9.636	1.51	0.399
Error	2	12.77	6.784		
Total	8	494.158			

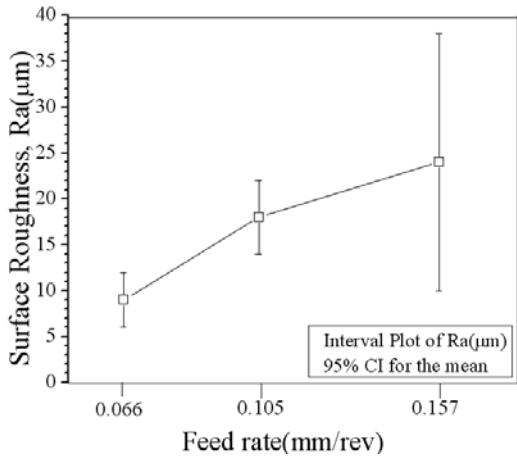


Fig. 6 Interval plot of Surface roughness(Ra) for feed rate

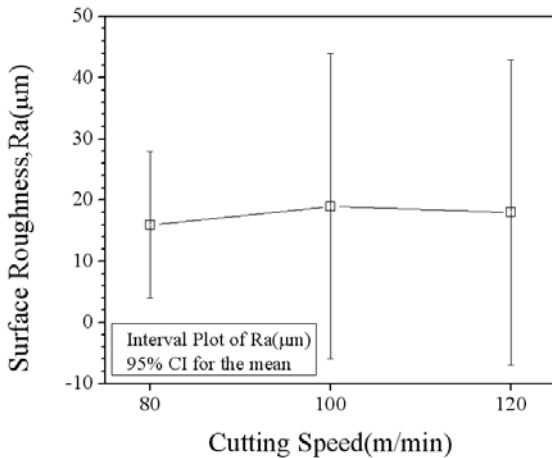


Fig. 7 Interval plot of Surface roughness(Ra) for cutting speed

게 나타나고 있는 것을 알 수 있다. 이는 80m/min의 절삭속도가 표면거칠기에 영향이 100m/min, 120m/min보다 크다는 것을 나타낸다고 분석할 수 있다.

Fig. 8은 절삭깊이에 대한 수준평균과 신뢰구간을 나타낸 것이다. 절삭깊이의 경우에도 0.2mm, 0.3mm의 절삭깊이에서 데이터의 변동성이 0.1mm의 절삭깊이보다 상대적으로 크게 나타나는 것을 알 수 있다. 이는 0.1mm의 절삭깊이가 표면 거칠기에 미

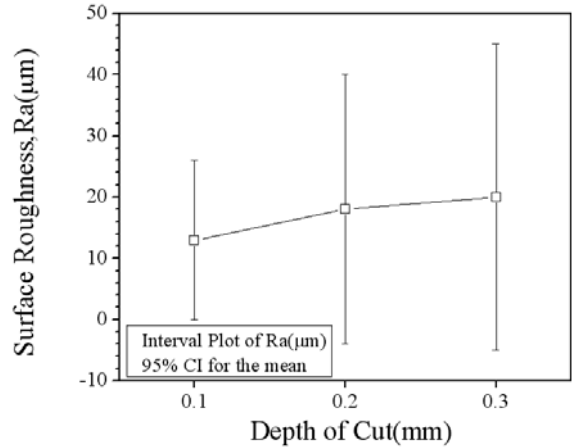


Fig. 8 Interval plot of Surface roughness(Ra) for depth of cut

치는 영향이 크다고 분석할 수 있다. 이송율의 경우 절삭속도, 절삭깊이에 비하여 수준변화에 따른 데이터 변동성 편차가 상대적으로 작게 나타나고 있으며, 절삭속도 및 절삭깊이는 수준변화에 따른 변동성의 편차가 크게 나타나고 있다.

이것은 이송율의 경우 수준변화에 따라 표면거칠기에 미치는 영향이 크지만 절삭속도, 절삭깊이는 수준변화에 따라 표면거칠기의 영향이 이송율에 비하여 적다고 분석할 수 있다.

이는 CVD코팅된 초경공구를 이용하여 기계구조용 탄소강을 단속절삭하는 경우 이송율이 표면거칠기에 주는 영향이 가장 큰 것으로 분석할 수 있다.

다음의 방정식은 CVD코팅된 초경공구를 이용하여 실험계획법의 직교배열표에 의하여 기계구조용 탄소강을 단속절삭실험을 실시한 후 얻은 결과를 중회귀 분석하여 얻은 회귀방정식이다.

$$Ra = -15.1 + 175f - 0.0682c + 31.1d$$

f : feed rate(mm/rev), c : cutting speed(m/min),

d : depth of cut(mm)

Table 5는 위에서 구한 회귀방정식의 정도를 알아보기 위한 분산분석표이다. F0의 값이 18.74이며, P검정의 값은 0.004로 회귀변동이 유의하다는

Table 5 ANOVA multiple linear regression model for factor

Source	DF	S	V	F0	P
Regression	3	453.8	151.27	18.74	0.004
Residual error	5	40.36	8.07		
Total	8	494.16			

것을 나타낸다. 그리고 결정계수 R^2 의 값을 구해보면 $R^2=0.918$ 로 총 변동 중에서 회귀변동이 차지하는 비율이 91.8%이며 회귀방정식의 정도가 매우 크고, 총변동의 91.8%가 회귀방정식에 의하여 설명되고 있다는 것을 알 수 있다.

4. 결론

본 논문에서는 기계구조용 탄소강에 절삭가공용 초경피복 공구를 이용하여 단속절삭실험을 실시하여 기계구조용 탄소강의 단속절삭시 최적의 표면 거칠기를 얻을 수 있는 회귀방정식을 구하였다. 이를 위하여 실험계획법을 적용하였으며, 실험으로부터 얻은 결과의 분산분석 및 신뢰구간 분석을 통하여 기계구조용 탄소강의 단속 절삭시 표면 거칠기에 영향을 미치는 인자를 분석하였고, 실험 결과의 중회귀분석을 통하여 표면 거칠기를 예측할 수 있는 회귀방정식을 도출하였으며, 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) 실험결과와 분산분석 및 신뢰구간 분석을 통하여 표면거칠기에 가장 큰 영향을 미치는 인자는 이송율이며, 절삭속도 및 절삭 깊이는 표면거칠기에 미치는 영향이 이송율에 비하여 적은 것으로 확인되었다.

(2) 단속절삭 실험결과와 중회귀분석을 통하여 표면 거칠기를 예측할 수 있는 회귀방정식을 도출하였다. 도출된 회귀방정식의 결정계수 $R^2=0.918$ 이고, 결정계수를 통하여 총 변동에서 회귀변동이 차지하는 비율이 97.8%로 회귀방정식의 정도가 매우 크다는 것을 알 수 있었다.

(3) 단속절삭에서도 연속절삭과 마찬가지로 이송율의 증가는 표면거칠기를 증가시키는 요인이 된다는 것을 확인 할 수 있었다.

REFERENCES

1. Anselmo Eduardo etc., "Turning of hardened steel with interrupted and semi-interrupted cutting", Journal of Material Processing Technology, 159, pp.240-248, 2005
2. Vitor Augusto A. De Godoy etc., "Turning of interrupted and continuous hardened steel surface using ceramic and CBN cutting tools", Journal of Material Processing Technology, 211, pp.1014-1025, 2011
3. Radu Pavel etc., "Effect of tool wear on surface finish for a case of continuous and interrupted hard turning", Journal of Material Processing Technology, 170, pp.341-349, 2005
4. B. C Lee, I. S Kang etc., "Machinability Evaluation of Interrupted Cutting in SCM420 Steel by Using Coated and Uncoated Tool", KSMPE proceeding '04, pp.82-87, 2004
5. D. W Kim, Y. J Cho etc., "Wear of Partially Coated Tool in Interrupted Cutting", KSPE proceeding '95, pp. 67-72, 1995.
6. M. I Bae, "Surface Roughness Variation of Interrupted Cutting in SM45C Using Coated Tool", Proceeding of the KSMPE spring Conference 2014, pp. 31, 2014
7. Y. Kevin Chou, Chris J. Evans., "Cubic Boron nitride tool wear in interrupted hard cutting", Wear 225-229, pp.234-245, 1999
8. S. H. Park., "Modern Design of Experiments", Ming Young Sa, pp. 423-496, 1996