

금형강(STD11)의 연삭가공조건 최적화를 위한 기초 연구

이영석*(부경대원), 하만경, 곽재섭, 류인일(부경대)

Fundamental Study for Optimization of Grinding Condition Using STD11 Material

Y. S. Lee*(Graduate of Pukyung Univ.), M. K. Ha, J. S. Kwak, I. L. Ryoo(Pukyung Univ.)

ABSTRACT

For the net shape manufacturing, grinding is a important process that influences directly the accuracy and the integrity of products. We studied and researched the grinding force, surface roughness, and grinding wheel durability, according to the change of a feed speed of the table and a depth of the cut step by step with experiment that it is used to WA wheel. Workpiece materials were used STD11. The purpose of this study proposes the basic data for design of the machine tool and for controlling the machining parameters to obtain optimum performance of plunge grinding system during operation.

Key Words : Grinding force(연삭력), Surface roughness(표면거칠기), Wheel durability(연삭수명), Feed speed(이송 속도), Depth of cut(절삭깊이)

1. 서론

현대 산업에서 기계 제작 및 부품의 생산공정은 고도의 정밀도를 요구하고 있으며 정밀가공 방법중 연삭가공(Grinding operation)은 입자(Grain)에 의한 고속절삭으로 초경합금 등과 같은 고경도강에서 경질고무 등과 같은 비교적 연질의 재료까지 광범위한 공작물을 가공할 수 있는 절삭가공으로 아주 적은 양의 절입깊이를 사용하므로 형상 및 가공정도가 높고, 가공품위와 표면거칠기가 양호한 마무리 가공법으로 적합하다.⁽¹⁾

연삭작업은 정밀도 향상의 효과적인 공정으로 초기다듬질 가공뿐만 아니라 중간 다듬질 및 끝 다듬질 가공등에 이르기까지 그 응용범위도 확대되었다. 그러나 연삭가공에 의해서 우수한 가공표면을 얻을 수 있으나 과학적이고 정량적인 지식이 부족하여 대부분의 작업이 숙련공의 경험에 의존하고 있는 실정인데 이는 연삭공정이 많은 가공변수와 연관되어 있고 그 각각의 변수 상호관계가 정량적으로 명확히 규명되어 있지 않아 올바른 연삭가공 조건을 설정하기란 쉽지않기 때문인데, 근래에 이르러 최적의 연삭가공 조건을 설정하기 위한 연구가 활발히 진행되어지고 있다.⁽²⁻⁴⁾

본 연구에서는 금형강(STD11)를 시험편으로 선택하여 WA(#80)숫돌을 사용하여 연삭가공 조건의 많은 요소 중에서 테이블의 이송속도와 절삭깊이의 변화에 따른 법선연삭력(Fn)과 표면거칠기(Ra) 및 가공횟수에 따른 연삭숫돌의 마모량을 측정하여 연삭수명예측 등을 통한 최적의 가공조건을 얻고자 한다.

2. 이론적 고찰

2.1 연삭력 이론

Fig. 1과 같은 단일 Grain edge의 절삭모형을 이용해서 이에 작용되는 접선방향의 연삭분력과 법선방향의 절삭력 (f_t, f_n)은 절삭저항성분 (f'_t, f'_n)과 마찰저항성분 (f''_t, f''_n)의 합과 같다고 볼 수 있으므로 다음과 같다.

$$f_t = f'_t + f''_t$$

$$= k_s a_m + \mu k_n a_g \tag{1}$$

$$f_n = f'_n + f''_n$$

$$= \lambda k_s a_m + k_n a_g \tag{2}$$

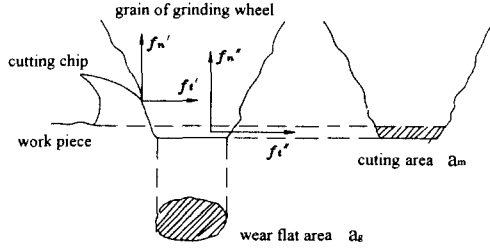


Fig. 1 Cutting model of grain edge

이 때 $a_m = \frac{1}{n_2} \frac{v}{V} \sqrt{\frac{t}{D_e}}$ 이다.

또한 공작물의 Burning 현상이 발생하기까지의 전체 연삭저항은

$$F_T = n_2 b l_c f_t \quad (3)$$

$$F_N = n_2 b l_c f_n \quad (4)$$

식으로 나타낼 수 있다.

2.2 표면거칠기 이론

연삭 다듬질 가공면의 거칠기에는 대단히 많은 인자 즉, 스톨의 절입깊이와 테이블의 이송속도 등의 가공조건외에 스톨종류 및 스톨의 표면상태, 드물게는 기계의 진동 등이 복잡하게 관계된다.

여기서, 먼저 연삭표면거칠기를 실험에 의해 확정하고 거칠기와 각종 연삭조건과의 관계를 실험식으로 나타내어 알 수 있게하는 많은 시도가 있어왔다. Optiz는 차원해석에 의한 실험식을 정립하였고 특히 渡邊⁽⁵⁾ 등의 연구자는 연삭표면거칠기 H_{th} 은 각종 연삭조건 of 거듭제곱 지수 함수형으로 나타낸 것으로 각각의 실험식을 구하였다. 그것을 정리하여 일반적으로 나타내면 다음과 같다.

$$H_{th} = k \cdot t^a \cdot V^{-b} \cdot v^c \cdot S^d \cdot B^{-e} \quad (5)$$

식에 있어서 각 지수치를 나타낸 것이 Table 1이며, 이에 따른 일반적인 경향으로 스톨절입깊이 t , 공작물 속도 v , 트래비스 이송 S 의 증가는 모두 거칠기를 크게 하고, 스톨 원주속도 V , 스톨폭 B 의 증대는 거칠기의 값을 작게하게 된다.

Table 1 Exponents for experimental formular of ground surface roughnesss

Researcher	a	b	c	d	e
salje	0.15	1.0	0.18	0.47	0.47
Watanabe	0.25	0.5	0.5	0.38	0.38
Werner	0.26	0.51	0.51	-	-
Masslow	0.4	-	0.6	0.45	-

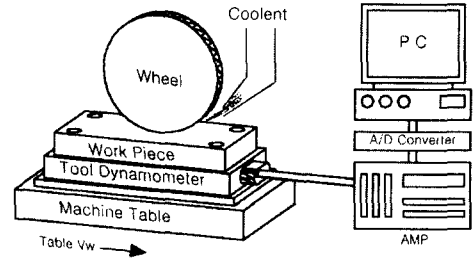


Fig. 2 Schematic diagram of experimental set-up

3. 실험장치 및 방법

Fig. 2는 개략적인 실험장치도로서 평면연삭기의 테이블에 공구동력계(Tool Dynamometer)를 설치한 후 WA스톨로 연삭가공시 발생하는 절삭력의 아날로그 신호는 Charge-amplifier를 통해 증폭되고 이를 12비트의 분해능력을 지닌 A/D converter를 통해 디지털화하여 pc에서 데이터를 처리하였다.

본 실험에서는 하향절삭으로 한방향으로만 실시하였으며, 주축의 속도를 1,800rpm으로 일정하게 유지하고 테이블의 이송속도를 1.4~6.6m/min, 절삭깊이를 5~30 μ m까지 각각 6단계로 변화시키면서 실시

Table 2 Experimental condition

Grinding machine	Horizontal spindle surface grinding
Grinding wheel	WA 80KmV
Workpiece	STD11(100 × 60 × 20 mm)
Conditions	Wheel speed : 1,800rpm
	Table speed : 1.4, 2.5, 3.4, 4.6, 5.6, 6.6(m/min)
	Depth of cut : 5,10,15,20,25,30(μ m)
	Plunge & Down cut & one pass
Coolant	Shell lubricant (soluble type, 10:1)
Charge amplifier	Kistler 5019B
Tool dynamometer	Kistler 9257B
A/D converter	ADLINK 8112PG
Surface roughness tester	Mitutoyo社 SURFTEST 301

Table 3 Chemical composition of workpieces (%)

	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni
STD11	1.5	0.4	0.6	0.03	0.03	12	0.5

하였으며, 절삭유도 계속적으로 공급하였다. 조건을 변경할때마다 연삭숫돌 입자를 고르게 하기 위해 Diamond one point dresser를 사용하여 Dressing하였다. 시험편은 여러 합금강 중에서 인성, 경도 및 충격성이 좋으며, 열처리 후 경도가 높아 가공에 어려움이 있어 방전가공법을 이용하나, 이 방법은 가공시간이 길어 금형제작 시간 단축의 어려움이 있으나 금형용으로 가장 널리 사용되는 STD11을 사용하였으며⁽⁶⁾, 이에 따른 실험조건과 시험편의 화학적 성분을 각각 Table 2, Table 3에 나타내었다.

4. 실험결과 및 고찰

본 연구에서는 WA(#80)숫돌로 STD11을 가공하여 절삭깊이와 이송속도의 변화에 따른 연삭실험을 수행하여 이때 발생하는 법선연삭력과 표면거칠기를 측정하였으며, 또한 가공횟수에 따른 숫돌의 마모량을 측정하여 연삭숫돌의 수명을 예측하여 평면연삭에서의 최적을 가공조건을 얻고자 하였다. 연삭력과 표면거칠기의 측정에서는 절삭깊이를 5~30(μm), 테이블 이송속도를 각각 1.4~6.6(m/min)까지 단계변화시켰을 때의 측정값을 나타내고 있다.

4.1 연삭력

Fig. 3은 절삭깊이와 테이블의 이송속도의 변화에 따른 연삭력의 변화를 나타낸 결과이다. 테이블의 이송속도가 증가함에 따라 연삭력이 증가하였으며, 절삭깊이의 증가에 대해서도 그 값이 선형적으로 증가하는 경향을 나타내었다. 특히 20 μm 을 중심으로 완만하게 증가하다 그 이후에 연삭력의 증가폭이 둔화되는 현상이 나타나는데, 이는 연삭숫돌입자가 많이 파쇄되어 연삭숫돌에 발생하는 Glazing 현상 때문으로 사료되어진다.

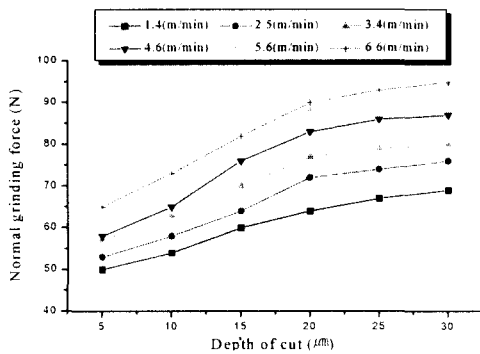


Fig. 3 Normal grinding force versus depth of cut for feed speed

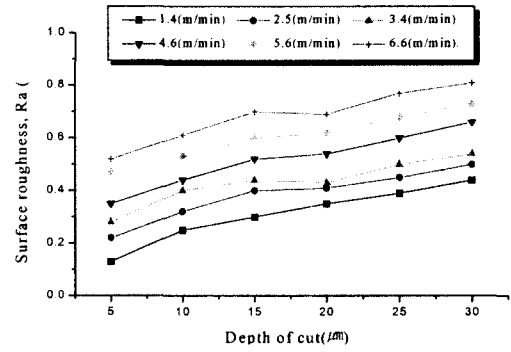


Fig. 4 Surface roughness versus depth of cut for feed speed

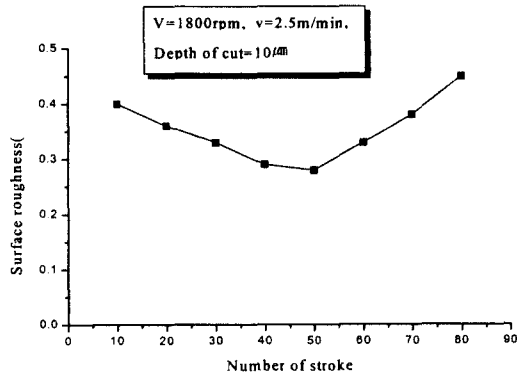
4.2 표면거칠기

Fig. 4는 절삭깊이와 테이블의 이송속도의 변화에 따른 표면거칠기의 변화를 나타낸 결과이다. 일정한 연삭깊이에서 테이블 이송속도를 증가시키면 표면거칠기가 나빠짐을 알 수 있고, 절삭깊이가 적어질수록 공작물의 표면거칠기가 양호해지는 경향을 나타내었으며, 표면거칠기는 절삭깊이의 변화보다 이송속도의 변화에 더 많은 영향을 받는 경향을 나타내었다. 이러한 실험결과에서 일반적으로 연삭가공이 정밀작업에 응용할 수 있으며 공작물의 표면거칠기가 가공정도에도 매우 밀접한 관계가 있음을 확인할 수 있었다.

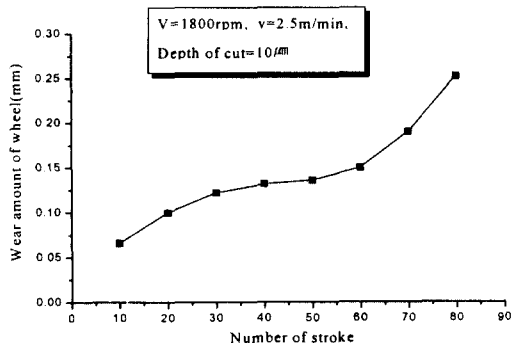
4.3 숫돌수명

숫돌수명은 초기 드레싱 직후부터 연삭작업중에 요구되는 치수정밀도와 표면거칠기를 더 이상 유지할 수 없어 재드레싱을 실시할 때까지의 시간으로 나타내는 것이 일반적인 경향이다.

Fig. 5는 WA(#80)숫돌로 STD11을 절삭깊이를 10 μm , 테이블 이송속도를 2.5m/min로 일정하게 유지시킨 후 가공횟수의 증가에 따른 표면거칠기와 숫돌입자의 마모, 파쇄 및 탈락에 의한 숫돌의 마멸량을 측정된 결과이다. 그림(a)에서와 같이 가공횟수가 10회씩 증가함에 따라 표면거칠기가 양호해지다가 약 50~60회 사이에서 크게 나빠짐을 알 수 있는데, 이는 앞서 언급한 바와 같이 연삭횟수의 증가에 따라 연삭숫돌에 발생하는 글레이징이나 눈데움>Loading) 현상으로 인해 나타난 결과이며, 숫돌의 자생작용이 활발한 시점으로 판단할 수 있다. 또한 (b)의 그림에서도 가공횟수의 증가에 대해서 대략 50~60회 사이에서 숫돌의 마멸량이 크게 증가함을 알 수 있는데, 이러한 실험결과를 통해서 본 실험조건에서의 연삭수명은 연삭횟수가 대략 50~60 정도임을 확인할 수 있었다.



(a)



(b)

Fig. 5 Wear amount of wheel, surface roughness versus number of strokes

5. 결론

본 연구에서는 WA(#80)숫돌을 이용한 평면연삭 가공에서 STD11의 최적의 가공조건을 얻고자 절삭 깊이와 테이블 이송속도의 변화에 따른 연삭력과 표면거칠기 및 가공횟수에 따른 숫돌의 마멸량을 측정하여 비교, 분석한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- (1) 연삭력의 측정에서 테이블의 이송속도와 절삭 깊이의 증가에 대해서 그 힘이 증가하는 경향을 나타내었으며, 일정한 이송속도에서 절삭깊이가 20 μ m를 기준으로 연삭력의 증가폭이 둔화되는 경향을 나타내었는데 이는 숫돌입자의 많은 파쇄로 인해 숫돌에 발생하는 Glazing 현상으로 인해 나타난 결과로 사료되어진다.
- (2) 표면거칠기에서도 일정한 절삭깊이에서 이송속도를 증가시키면 거칠기가 나빠지고 절삭깊이가 적을수록 거칠기가 양호해지는 경향을 나타내었

으며, 절삭깊이보다는 이송속도의 변화에 더 많은 영향을 받는 것으로 나타났다.

- (3) 가공횟수의 증가에 따른 표면거칠기와 숫돌의 마모량의 측정된 실험결과에서 약 50~60회에서 표면거칠기가 나빠지고, 숫돌의 마멸량이 증가하여 숫돌의 재생작용이 활발해짐을 알 수 있었다.

참고문헌

1. 광재섭, 송지복, "AE 신호를 이용한 연삭 가공물의 표면 거칠기 예측," 한국정밀공학회지, 제17권, 제4호, pp. 240-246, 2000.
2. 맹회영, "연삭가공조건 최적화에 관한 연구," 공학석사학위논문, 서울대학교, pp. 57, 1982.
3. Kazunori Nagasaka, Yoshihiro Kita, and Akihiro Tanibayashi, "The Construction of Expert System for Grinding Process," Journal of JSPE, Vol. 57, No. 7, pp. 141~146, 1991.
4. Ganhoi Kim and Inasaki, "Establishment of Optimum Grinding Conditions Utilizing the Fuzzy Regression Model," Journal of JSME, Vol. 59, No.566, pp. 280~286, 1992.
5. 허성중, 강재훈, 김원일, "금형용 WC-Co의 초정밀 연삭가공 조건에 관한 연구," 정밀학회지, 제10권, 제1호, pp.42~51, 1993.
6. F.D. Jones, Die Design and Die Making Practice, Mech. Pub. Co., 1952.