

〈논 문〉

## 단속 연삭지석에 의한 스테인레스강의 연삭특성에 관한 연구

권오병\* · 김정두\*\*

(1996년 2월 23일 접수)

### A Study on the Grinding Characteristics of Stainless Steel Using Intermittent Grinding Wheel

O-Byung Kweun and Jeong-Du Kim

**Key Words :** Intermittent Grinding Wheel(단속 연삭지석), Grinding Temperature(연삭열),  
Difficult-To-Material(난삭재), Stainless Steel(스테인레스강)

#### Abstract

In the grinding of difficult-to-materials, the major problems of conventional grinding are grinding burn, wheel wear, grinding surface crack, loading and glazing. When a conventional grinding wheel is used, wheel wear and grinding surface crack easily occur in low heat conductive material and annealed steel. Intermittent grinding is suitable for difficult-to-materials such as stainless steel, titanium alloy, aluminum alloy and copper alloy. The purpose of this paper is to develop a new type intermittent wheel of the grinding system for improving the problem of stainless steel grinding, to observe the effect of intermittent grinding on surface quality and grinding force, to show the advantages of intermittent grinding wheel and to understand the grinding characteristics of stainless steel grinding using intermittent grinding wheel. Surface quality has been improved in stainless steel grinding by using intermittent grinding wheel. The characteristics of intermittent grinding system improve surface quality, low grinding temperature and low loading.

#### 기 호 설 명

$c$  : 비열 [KJ/kg·°C]

$D$  : 연삭지석 지름 [m]

$d$  : 연삭깊이 [m]

$f_w$  : 단속주기 [Hz]

$k$  : 열전달계수 [W/m·°C]

$l$  : 연삭지석과 공작물의 접촉길이

$l_g$  : 연삭지석의 원주면상 길이 [m]

$l_b$  : 단속되는 원주길이 [m]

$N$  : 연삭지석의 회전소기도 [rpm]

$n$  : 단속잇수

$\dot{q}$  : 내부 열발생 [J/m<sup>3</sup>]

$T$  : 공작물 온도 [°C]

$t$  : 연삭시간 [sec]

$\Delta t$  : 연삭시간스텝 [sec]

$\Delta x$  : 메시간격 [m]

$x, y, z$  : 직각좌표축

$\alpha$  : 열확산계수 [m<sup>2</sup>/s]

$\rho$  : 밀도 [kg/m<sup>3</sup>]

\*한국과학기술원 대학원 기계공학과

\*\*회원, 한국과학기술원 기계공학과

### 1. 서 론

최근 항공우주산업, 자동차산업 등의 발달로 인해서 스테인레스강, 티타늄, 알루미늄합금, 동합금, 두랄루민 등의 수요가 급증하고 있을뿐만 아니라 정밀가공을 위한 연삭가공의 필요성이 증가하고 있다. 그러나, 이러한 소재류를 연삭할 경우, 일반 연삭가공은 연삭지석의 눈매움(loading), 날 무디어짐(glazing)과 연삭소손(grinding burn)등과 같은 비효율적인 가공현상으로 인하여 정밀가공의 장애요인이 되고 있다.

난삭재의 연삭가공은 연삭입자와 결합재에 의하여 칩의 유동이 원활하지 못하며 연삭입자의 연삭깊이가 미소하여 발생하는 치수효과(size effect)의 영향, 고발열과 연삭입자의 날 무디어짐 등인 것으로 밝혀지고 있다.<sup>(1)</sup> 특히 스테인레스강의 일반 연삭가공은 연삭면에서의 연삭온도가 높으므로 열적인 영향에 의하여 연삭소손현상이 발생하고, 연삭지석의 마멸이 심하며 눈매움현상이 발생한다.<sup>(2)</sup> 또한 연삭지석의 마멸은 일반적인 강이나 고망간강 등의 피삭재를 연삭할 때 보다 스테인레스강을 연삭할 때 아주 크게 나타났으며 눈매움현상이 발생하였다.<sup>(3)</sup> 눈매움현상은 일반 연삭지석으로 스테인레스강을 연삭할 경우에 많이 발생하며 연삭방향에 따라서 많은 차이를 보이고 있다.<sup>(4)</sup> 단속 연삭지석은 일반 연삭지석과 연삭작용이 없는 면을 생성시킨 것으로 일반 연삭지석 작업면에 다이아몬드 크러싱 롤러(Diamond Crushing Roll)를 사용하여 나선형 홈을 생성시키거나 특수한 연삭지석을 사용한 것이다.<sup>(5)</sup> 단속 연삭가공은 눈매움현상을 감소시키고 연삭열의 냉각효과가 좋은 것으로 나타났으며 피삭재의 형상정도가 개선되었다. 단속 연삭가공은 연삭칩 배재공간이 넓고 연삭액의 공급이 원활하여 연삭열이 낮기 때문에 피삭재의 가공표면 다듬질상태가 개선되는 특성이 있다. 세라믹의 단속 연삭가공은 연삭에서 표면의 열잔류응력이 개선되었고 이로 인하여 표면에 기계적 성질을 개선하는 압축잔류응력이 존재하는 것으로 나타났다.<sup>(6)</sup> 또한 세라믹의 크립피드(creep feed) 단속 연삭가공은 연삭깊이가 증가되어도 연삭 성능의 감소가 발생하지 않고 있다.<sup>(7)</sup> 단속 연삭가공은 이동열원에 대한 열적해석으로 연삭온도의 해석이 가능하다.<sup>(8,9)</sup>

본 연구에서는 일반 연삭지석의 문제점을 해소하기 위하여 단속 연삭지석을 제작하였다. 단속 연삭지석이 연삭력, 표면조도, 연삭소손현상과 연삭온도에 미치는 영향을 관찰하고 연삭특성 분석한다. 또한 스테인레스강의 연삭에서 제작된 단속 연삭지석의 일반 연삭지석보다 우수한 특성을 규명하고 일반 연삭지석으로 연삭이 불가능한 스테인레스강의 단속 연삭특성을 분석하는 것이 본 연구의 목적이다.

### 2. 단속 연삭지석의 이론적 해석

#### 2.1 단속 연삭지석의 열경계조건

식 (1)은 단속 연삭지석에 적용한 열전도방정식이다. 여기에서  $T$ 는 온도,  $\rho$ 는 밀도,  $c$ 는 비열,  $k$ 는 열전달계수이며,  $x, y, z$ 는 각각 직각좌표축이다.

$$\frac{\partial}{\partial x}\left(k\frac{\partial T}{\partial x}\right) + \frac{\partial}{\partial y}\left(k\frac{\partial T}{\partial y}\right) + \frac{\partial}{\partial z}\left(k\frac{\partial T}{\partial z}\right) + \dot{q} = \rho c \frac{\partial T}{\partial t} \quad (1)$$

여기에서 열전달계수(thermal conductivity:  $k$ )는 상수로 가정하고 연삭지석 폭방향의 열의이동을 무시하면 2차원으로 해석할 수 있다. 식 (2)는 식 (1)을 테일러 급수전개하고 미소영역의  $x, y$  분할이 같은 경우의 2차원 열전도방정식이다. 여기에서 내부 열발생( $\dot{q}$ )은 없다.

$$T_{m,n}^{p+1} = \frac{\alpha \Delta t}{(\Delta x)^2} (T_{m+1,n}^p + T_{m-1,n}^p + T_{m,n+1}^p + T_{m,n-1}^p) + \left[1 - \frac{4\alpha \Delta t}{\Delta x^2}\right] T_{m,n}^p \quad (2)$$

Fig. 1에서 단속 연삭지석의 열경계조건을 나타내었으며, 여기서, ①은 연삭지석과 공작물의 접촉부분이며 균일열원으로 가정하였다. ②, ③, ④와 ⑤의 열경계조건은 연삭유에 의한 균일한 냉각조건으로 가정하였다. 일반 연삭가공은 연삭지석과 공작물의 접촉부분이 일정한 속도로 이동하지만 단속 연삭지석은 균일 열전달과 단속에 의한 냉각이 주기적으로 반복되면서 이동한다. 단속비( $\eta$ )는 원주면에서 연삭스틱의 원주길기와 등분할된 원주길기의 비이다. 본 연구에서 제작한 단속지석의 단속비는 0.3이다. 연삭지석의 원주면상의 길이( $l_g$ ), 단속되는 원주길이( $l_b$ )와 열원의 단속주기( $f_w$ )는 식

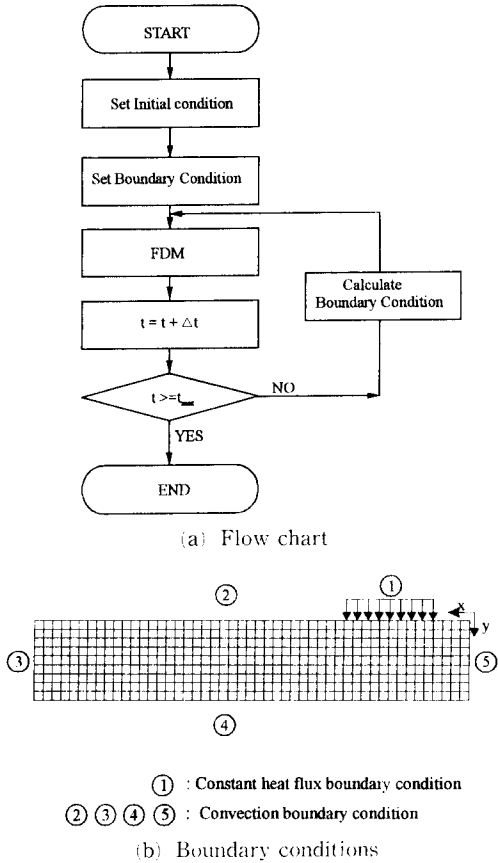


Fig. 1 Flow chart and boundary conditions for simulation of grinding temperature

(3)과 같이 단속비( $\eta$ ), 단속 잇수( $n$ ), 연삭지석의 회전속도( $N$ ), 연삭깊이( $d$ ), 이송속도( $v_w$ )의 함수로 나타낸다.

$$\begin{aligned}
 l &= \sqrt{Dd} \\
 l_g &= \frac{\pi D}{n} \cdot n \\
 l_b &= \frac{\pi D}{n} \cdot (1 - \eta) \\
 f_w &= N \cdot n
 \end{aligned}
 \quad (3)$$

여기에서  $l$ 은 연삭지석과 피삭재의 접촉길이이며 단속 연삭지석의 열 해석에 사용한 가정은 다음과 같다.

- ① 피삭재의 폭방향은 반 무한대이다.
- ② 연삭열원은 폭방향으로 반 무한대이다.
- ③ 열원의 크기는 체적제거량에 비례한다.

위와 같은 가정을 이용하면 연삭면의 온도해석을

2차원으로 해석할 수 있으며 유한차분법에 의한 해석이 간편해진다.

## 2.2 연삭온도 해석을 위한 시뮬레이션

Fig. 1은 프로그램을 작성하기 위한 순서도를 나타낸 것이다. 피삭재의 초기온도와 연삭액의 초기온도는 동일하며 재료내부는 균일 온도분포로 가정하였다. 초기온도는 상온으로 설정하였다. 임의 순간에서 온도분포는 시간중분 이전의 온도 계산결과를 사용하여 초기온도에 대입하고 열원의 경계조건을 계산한다. 단속 연삭지석과 피삭재와의 접촉부분에서 일정 열경계조건은 단속의 영향에 의하여 연삭작용이 없는 휴지기가 존재하므로 일정 열유입 경계조건과 연삭액에 의한 냉각경계조건이 주기적으로 반복된다. 따라서 임의 시간에서 열경계조건은 일정 열경계조건과 냉각경계조건의 관법에 의하여 설정된다. 반면에 일반 연삭지석은 균일한 열원이 테이블 이송속도에 따라 이동하면서 계속적으로 작용한다. 단속 연삭지석의 경우 연삭작용이 없는 단속기간은 균일 열유입 경계부분이 연삭액에 의한 경계조건으로 대체된다. 계산에 사용한 인자로 단속비( $\eta$ )는 0.3, 단속잇수( $n$ )는 18개, 연삭지석의 회전속도( $N$ )는 1700 rpm, 연삭깊이( $d$ )는 15  $\mu\text{m}$ 이며 이송속도( $v_w$ )는 5 m/min이다. 스테인레스강의 물성치는 비열( $c$ ) 155.09, 밀도( $\rho$ ) 7940, 열전도계수( $k$ ) 16.47이다.

## 3. 실험장치 및 방법

Fig. 2는 제작된 단속 연삭지석의 형상이다. 제작된 단속 연삭지석은 기존의 일반 연삭지석과 같은 방법으로 트루잉과 드레싱을 할 수 있으므로 단속 연삭지석의 장점인 연삭액 공급의 원활함과 칩배제공간 확보로 인한 연삭열 영향의 감소와 연삭지석의 눈매음 감소효과를 얻을 수 있을 뿐만 아니라 일반 연삭기에서 사용할 수 있다. (a)는 연삭지석의 고정부분을 확대하여 그린 것이다. 연삭지석은 웨기형 스틱으로 제작되었고, 결합블럭과 볼트를 사용하여 고정할 수 있도록 하였으며 결합블럭 부분이 연삭이 발생하지 않는 단속 부분이다. 단속 연삭지석 스틱을 결합시키는 원판 너스크는 균일한 간격으로 휴이 생성되어 있으며 고정되는 지석스티크의 수는 18개이다.

일반 연삭지석과 단속 연삭지석의 연삭실험을 병

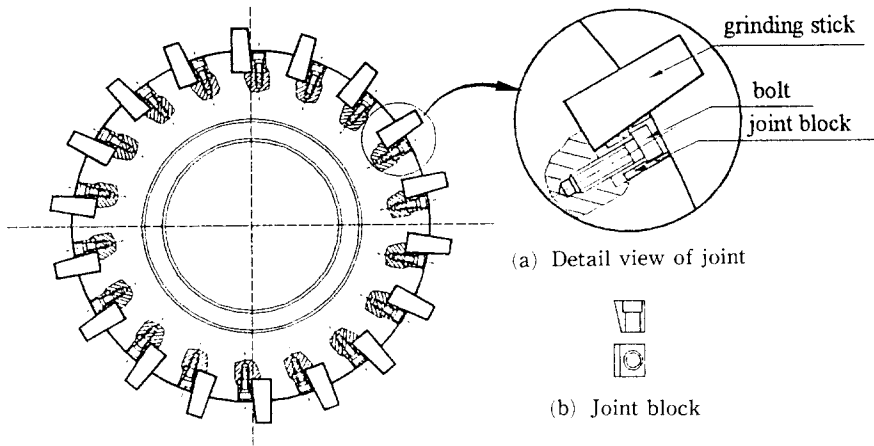
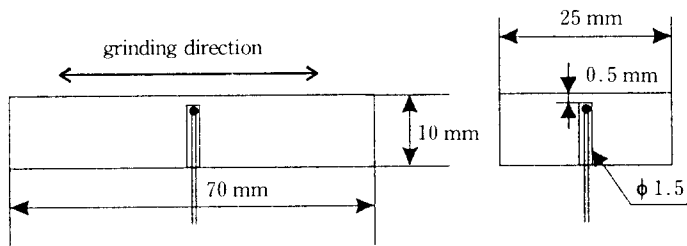


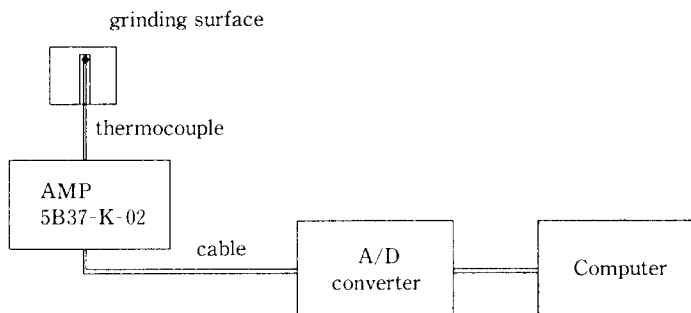
Fig. 2 Structure of intermittent grinding wheel

의 측정주파수로 10000개의 데이터를 0.2초간 측정하였다. 단속 연삭지석의 연삭력은 연삭력이 작용할 때와 작용하지 않는 휴지기가 존재하므로 측정된 연삭력 데이터를 평균하여 일반 연삭지석의 데이터와 비교하였다. 사용한 연삭지석은 WA80K7V와 WA100P7V이다. 연삭력의 형상은 단속 연삭지석을 사용하여 연삭거리에 따라 비교하였다. 표면 조도는 각각의 연삭깊이로 제작된 시편을 측정

행하여 단속 연삭지석과 일반 연삭지석의 특성을 분석하였다. 연삭력의 측정은 KISTLER(9257B) 공구 동력계를 사용하였고 측정단위는 뉴턴(N)이다. 단속 연삭지석이 18개의 스틱으로 구성되어 있고, 주축 회전이 1700 rpm이므로 단속 주파수는 510 Hz이다. 연삭력의 측정에서 단속의 영향을 관찰하기 위하여 필요한 주파수는 1.275 kHz 이상이다. 따라서 본 실험에서 연삭력의 측정은 50 kHz



(a) Thermocouple with workpiece



(b) Schematic diagram of data acquisition

Fig. 3 Schematic diagram for measuring the temperature of grinding surface with thermocouple

표면조도 측정기(Rank Taylor-Hobson, Ltd. Surtronic 3+)로 7번을 측정하여 최대와 최소를 제외한 5개의 표면조도를 평균하여 산출하였다. 표면상태는 일반 연삭지석으로 가공된 시편의 연삭거리에 따른 연삭면의 SEM 사진으로 분석하였다. 연삭온도의 측정은 열전대를 사용하였으며, 열전대는 연삭표면에서 0.5 mm 위치에 삽입하였다. Fig. 3은 열전대에 의한 연삭열 측정시스템의 개념도이다. 열전대의 기전력은 연삭열에 의하여 열전대의 접점에서 발생하고 앰프에서 증폭된다. 사용된 모듈 증폭기는 5B37-K-02이다. 이 증폭기는 열전대의 기전력을 입력으로 하여 0 V에서 5 V의 범위로 출력한다. 출력된 전압은 A/D 변환기에서 디지털신호로 변환되고 다시 온도로 환산된다. 단속 연삭 효과에 대한 영향은 같은 종류의 일반 연삭지석을 사용하여 비교하였다. 연삭할 때 사용한 연삭액은 수용성이며, 피삭재는 SUS304이고 연삭깊이는 5, 10, 15, 20, 25와 30  $\mu\text{m}$ 로 5  $\mu\text{m}$  단위로 실험하였다. 또한 실험에서 이송속도는 3, 5와 8 m/min이다. 단속 연삭지석과 일반 연삭지석의 직경은 305 cm이며 주축 회전수는 1700 rpm이다.

#### 4. 실험결과 및 고찰

##### 4.1 연삭력에 대한 영향

Fig. 4는 단속 연삭지석과 일반 연삭지석의 수직 연삭력을 연삭깊이에 따라 비교한 것이다. 단속 연삭지석과 일반 연삭지석을 사용한 경우 수직 연삭력의 차이는 아주 미소한 것으로 나타났다. 또한 수직 연삭력은 연삭깊이가 증가함에 따라 선형적으로 증가하는 결과를 얻었으며 이 경향은 단속 연삭지석과 일반 연삭지석을 사용한 경우에서 공통적으로 나타나고 있다. Fig. 5는 단속 연삭지석과 일반 연삭지석의 수평연삭력을 연삭깊이에 따라 비교한 것이다. 수평연삭력은 단속지석을 사용한 경우가 일반 연삭지석을 사용한 경우보다 증가하였으며, 연삭깊이에 따른 증가율이 일반 연삭지석의 경우보다 크다. 이 결과에서 단속 연삭가공은 수직연삭력보다 수평연삭력에 대한 영향이 더 큰 것으로 나타났으며 일반 연삭가공에 비하여 수평연삭력이 증가하였다. Fig. 6은 시간영역에서 연삭거리의 증가에 따른 수직연삭력을 나타낸 것이다. 본 연구에서는 1 m보다 작은 시편을 연삭깊이를 15  $\mu\text{m}$ 로 하여

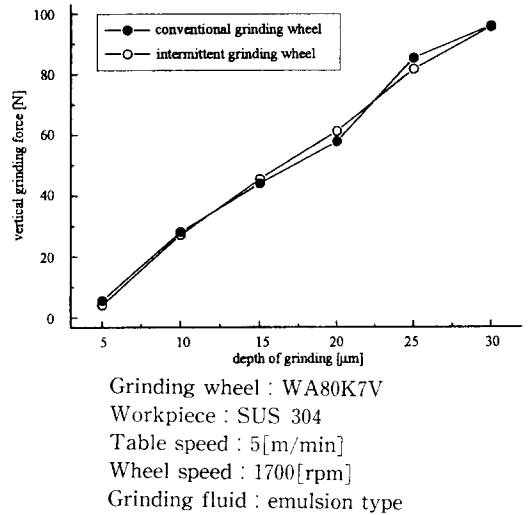


Fig. 4 Comparison of vertical grinding force between intermittend and conventional grinding

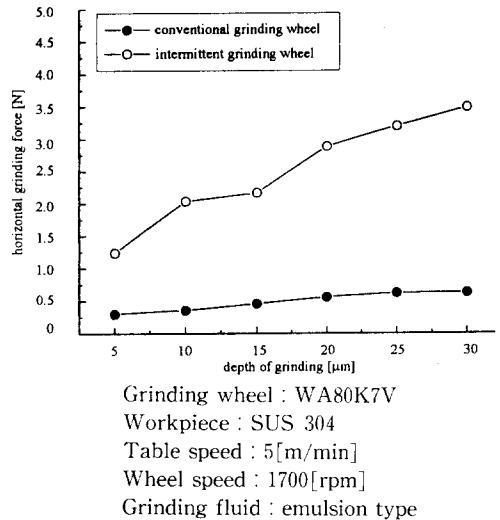
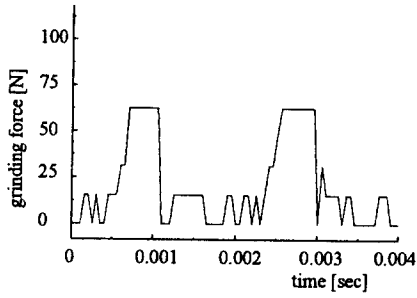
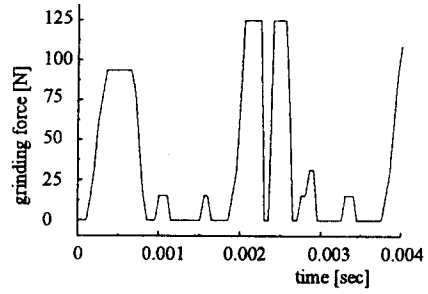


Fig. 5 Comparison of horizontal grinding force between intermittend and conventional grinding

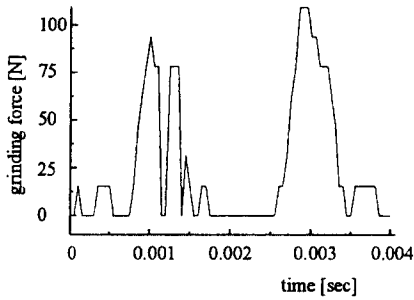
여러번 반복하여 가공하였다. 연삭깊이는 15  $\mu\text{m}$  으로서 공작물에 적용되는 연삭깊이를 일정하게 하기 위해서 1회 가공후 연삭깊이 15  $\mu\text{m}$ 를 연차적으로 가공실험을 수행하였다. 여기에서 (a)는 연삭깊이를 15  $\mu\text{m}$ 로 한 초기 연삭가공의 연삭력이고, (b), (c), (d)는 각각 연삭거리가 2 m, 3 m, 4.5 m일 때 연삭력이다. (a)에서 연삭력은 폭이 좁은 사각형의 형태이지만 연삭거리가 증가함에 따



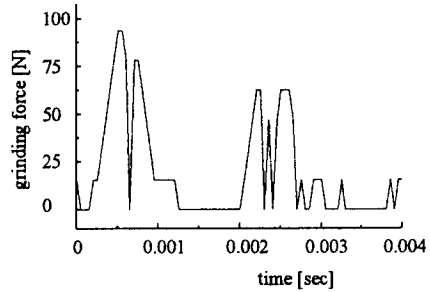
(a) Grinding force at first pass



(b) Grinding length 2[m]



(c) Grinding length 3[m]

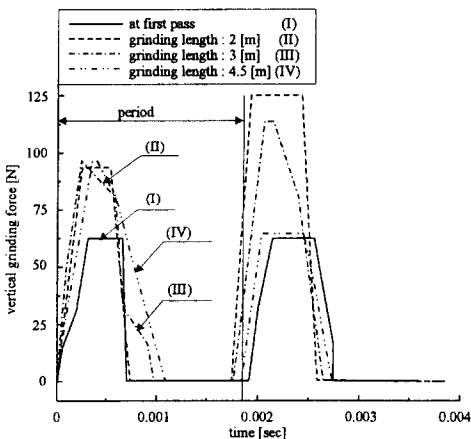


(d) Grinding length 4.5[m]

Grinding wheel : WA100P7V  
 Workpiece : SUS 304  
 Depth of grinding : 15[ $\mu\text{m}$ ]

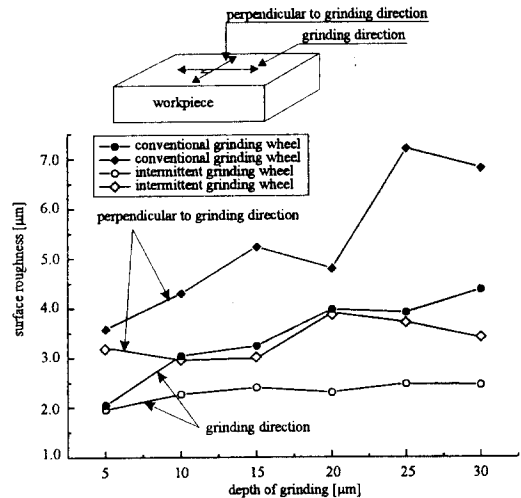
Table speed : [m/min]  
 Wheel speed : 1700[rpm]  
 Grinding fluid : emulsion type

Fig. 6 Transition of grinding force with various grinding lengths



Grinding wheel : WA100P7V  
 Workpiece : SUS 304  
 Depth of grinding : 15[ $\mu\text{m}$ ]  
 Table speed : [m/min]  
 Wheel speed : 1700[rpm]  
 Grinding fluid : emulsion type

Fig. 7 Comparison of grinding force types with various grinding lengths

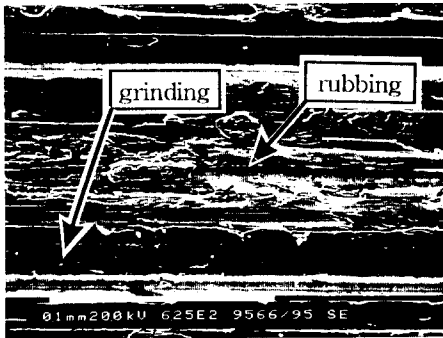


Grinding wheel : WA80K7V  
 Workpiece : SUS 304  
 Table speed : 5[m/min]  
 Wheel speed : 1700[rpm]  
 Grinding fluid : emulsion type

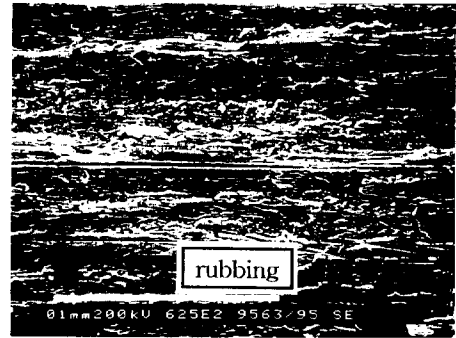
Fig. 8 Surface roughness of conventional and intermittent grinding

라 연삭력은 사인곡선의 형태로 변화한다. 사각파는 주기함수로 변환하면 무한대 임펄스 성분이 존재한다. 그러므로 연삭력이 사각파의 형태인 것은 충격력이 크다는 것으로 분석된다. 사인파는 주기함수 변환에서 임펄스 성분이 존재하지 않는다. 연삭력이 사각형태에서 사인곡선의 형태로 변한다는 것은 충격력의 성분이 감소한다는 것이다. Fig. 7은 연삭력의 형태를 비교하기 위하여 각각의 연삭

거리에서 측정된 연삭력의 외형을 하나의 그래프에 표현한 것이다. 여기에서 연삭거리가 1 m 이후의 연삭력이 초기 연삭력보다 큰 이유는 실제 연삭길이 변형에 의하여 15  $\mu\text{m}$ 보다 작지만 배회 15  $\mu\text{m}$ 의 연삭길이가 가공하면 실제 연삭길이가 설정된 연삭길이인 15  $\mu\text{m}$ 가 되기 때문이다. 연삭력의 외형은 완만한 형상으로 천이하고 있음이 확인되었다. 또한 연삭력의 과도기적인 형상에서 정상상태



(a) Grinding length : 1 m



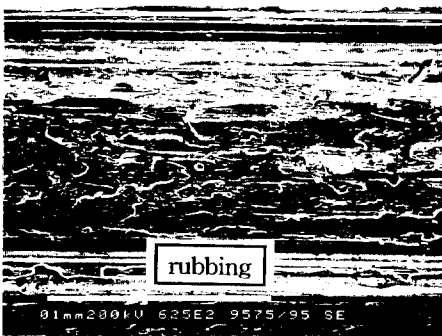
(b) Grinding length : 4 m



(c) Grinding length : 7 m



(d) Grinding length : 10 m



(e) Grinding length : 15 m

Grinding wheel : WA100P7V  
 Workpiece : SUS 304  
 Depth of grinding : 15 [ $\mu\text{m}$ ]  
 Table speed : 5 [m/min]  
 Grinding fluid : Emulsion type  
 Wheel speed : 1700 [rpm]  
 Magnification : 625

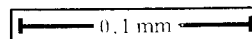


Fig. 9 Surface integrity with the variable of grinding length by using conventional grinding wheel

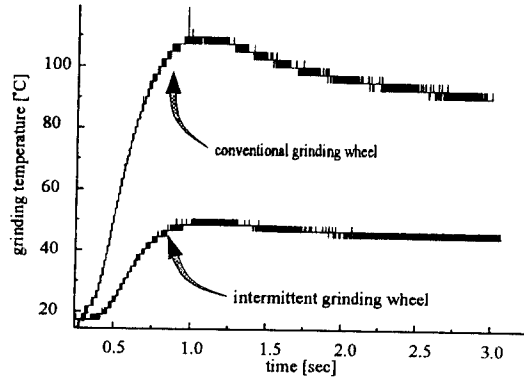
로 천이하고, 연삭력의 형상이 사각파에서 사인파로 천이되는 것은 단속 연삭지식의 눈메움현상과 밀접한 관계가 있는 것으로 분석된다.

4.2 표면조도 및 표면성상

Fig. 8은 일반 연삭지식과 단속 연삭지식을 사용한 경우의 표면조도이다. 연삭면의 표면조도는 연삭방향과 이에 수직인 방향에 대하여 측정하였다. 연삭깊이가 미소한 영역은 단속 연삭지식과 일반 연삭지식으로 가공된 표면조도의 차이가 미소하지만 연삭깊이가 증가함에 따라 그 차이가 현저하게 나타났다. 연삭방향에 수직인 표면조도는 연삭방향으로의 표면조도에 비하여 그 크기는 증가하였으나 경향은 동일하였다. 또한 단속 연삭지식으로 가공된 연삭면의 표면조도는 연삭깊이가 증가함에 따라 그 증가율이 적으나 일반 연삭지식을 사용한 경우에는 연삭깊이가 증가함에 따라 표면조도의 증가율이 현저하게 나타났다. 단속 연삭지식의 표면조도에 대한 영향은 연삭깊이가 30  $\mu\text{m}$ 까지 증가하여도 가공면의 악화가 미소한 것으로 나타났으며 연삭깊이의 변화에 따라 일반 연삭가공에 비하여 더욱 안정된 연삭면을 생성하는 것으로 나타났다. Fig. 9는 일반 연삭지식을 사용한 스테인레스강의 가공에서 연삭거리에 따른 연삭면의 SEM 사진이다. 여기에서 (a), (b), (c), (d)와 (e)는 각각 연삭거리가 1, 4, 7, 10, 15 m이다. 연삭거리가 증가함에 따라 러빙현상이 증가하였다. 연삭입자에 의하여 가공된 표면은 입자의 자국이 뚜렷하게 나타나는 반면에 러빙현상은 입자의 가공에 의한 골의 생성이 없으며 불규칙한 표면을 생성한다.

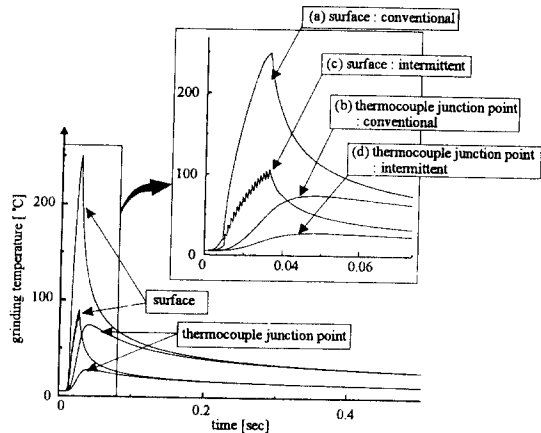
4.3 연삭온도

Fig. 10은 K형 열전대를 사용하여 단속 연삭가공과 일반 연삭가공에서 측정된 연삭온도이다. 실험에 사용한 단속 연삭지식은 WA100P이며 단속비가 0.3이다. 연삭온도는 단속 연삭지식을 사용할 때 일반 연삭지식의 경우보다 낮게 나타났다. 단속 연삭가공은 단속의 영향에 의하여 연삭온도가 연속적으로 상승하는 것이 아니라 증가와 감소를 반복하기 때문에 연삭온도가 감소한다. 단속 연삭지식을 사용한 경우 표면의 연삭온도가 상대적으로 낮으므로 연삭소손현상이 발생하지 않는 것으로 사료된다. 단속 연삭가공에서 연삭온도가 연속적으로



Workpiece : SUS304  
Grinding wheel : WA100P7V  
Intermittent ratio : 0.3  
Table speed : 5[m/min]  
Wheel speed : 1700[rpm]  
Depth of grinding : 15[ $\mu\text{m}$ ]  
Grinding fluid : emulsion type

Fig. 10 Comparison of grinding temperature between intermittend and conventional grinding by thermocouple



Workpiece : SUS304  
Grinding wheel : WA100P7V  
Intermittent ratio : 0.3  
Table speed : 5[m/min]  
Wheel speed : 1700[rpm]  
Depth of grinding : 15[ $\mu\text{m}$ ]  
Grinding fluid : Emulsion type

Fig. 11 Comparison of grinding temperature between intermittend and conventional grinding by simulation

증가하는 것은 열전대의 접점에서 서상수와 같은 원인에 의하여 연삭표면의 온도를 추정하지 못하기 때문이다.



Fig. 11은 연삭표면과 열전대 위치의 연삭온도 시물레이션 결과이다. (a)와 (b)는 일반 연삭지석을 사용한 경우이며, (c)와 (d)는 단속 연삭지석을 사용한 경우이다. 또한 (a)와 (c)는 연삭이 발생할 때 연삭면의 온도이며 (b)와 (d)는 본 실험에서 사용한 열전대 삽입부분의 연삭온도 시물레이션 결과이다. 이 결과에서 연삭면의 온도는 일반 연삭지석의 경우가 현저히 높게 나타났다. 반면에 단속 연삭지석을 사용한 경우 단속 연삭지석의 특성상 주기적인 가열과 냉각이 발생하여 표면온도가 증가와 감소를 반복하므로 일반 연삭의 경우와 비교할 때 상대적으로 낮은 온도분포를 나타내는 것으로 분석되었다. 측정된 온도와의 차이는 연삭온도의 변화에 영향을 주는 모든 제반인자를 고려하지 못한 결과이다.

## 5. 결 론

단속 연삭지석은 일반 연삭가공에서 발생하는 연삭결함을 개선하기 위하여 개발된 것으로 난삭재인 스테인레스강의 연삭에 적용한 바 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 단속 연삭가공은 스테인레스강의 연삭에서 연삭온도가 일반 연삭지석에 비해 낮게 나타났으며 연삭소손(grinding burn)이 발생하지 않았고 표면조도면에서 보다 안정적인 결과를 나타내었다.
- (2) 단속 연삭가공은 단속의 영향에 의하여 일반 연삭가공보다 낮은 연삭온도를 나타내었다.
- (3) 단속 연삭가공은 연삭온도가 상승과 하강을 반복하면서 증가한다. 이것은 단속의 영향에 의하여 연삭면에서 냉각되는 기간이 존재하기 때문이며 연삭온도 감소의 주요 인자이다.
- (4) 단속지석의 수직연삭력은 연삭초기에는 피크부분이 평평한 사각 파형으로 나타났으며 연삭거리가 증가함에 따라 평평함이 점차 줄어들어 사인 파형으로 변화하였다.

## 참고문헌

- (1) Hiroshi EDA, Koza Kishi, Nobuyuki Ushi, Hideo Ueno, Yoshinaki Kakino and Akihiko Fujiwara, 1984, "In-Process Detection of Grinding Burn by Means of Utilizing Acoustic Emission," *Bull. Japan Soc. of Prec. Engg.*, Vol. 18, No. 4, pp. 299~304.
- (2) Kazuhiko Koshima, Hiromichi Onikura and Keizo Sakuma, 1991, "On the Grinding Wheel Wear in Grinding of High Manganese Steel — A Comparison with Austenite Stainless Steel —," *Japan Soc. of Prec. Engg.*, Vol. 57, No. 6, pp. 1041~1046.
- (3) Malkin, S. and Cook, N. H., 1971, "The Wear of Grinding Wheels part 1-Attritious wear," *Journal of Engineering for Industry, Transactions of the ASME*, Vol. 93, No. 4, pp. 1120~1128.
- (4) Kazuhiko Koshima, Hiromichi Onikura and Keizo Sakuma, 1992, "Loading Phenomenon of CBN Wheel in Grinding of Stainless Steel," *Bull. Japan Soc. of Prec. Engg.*, Vol. 26, No. 4, pp. 279~283.
- (5) Nakayama, K. Takagi, J. and Takeyama, H., 1977, "Grinding Wheel with Heralical Groves-an Attempt to Improve the Grinding Performance," *Annals of the CIRP*, Vol. 25, No. 1, pp. 133~138.
- (6) Suto, T., Waida, T., Noguchi, H. and Inoue, H., 1990, "High Performance Creep Feed Grinding of Difficult-to-Machine Materials with New-Type Wheels," *Bull. Japan Soc. of Prec. Engg.*, Vol. 24, No. 1, pp. 39~44.
- (7) Suto, T., Waida, T., Noguchi, H. and Rezaei, M., 1990, "Creep Feed Grinding of Ceramic-Matrix Composites with a Segmented & Perforated Wheel," *Bull. Japan Soc. of Prec. Engg.*, Vol. 24, No. 3, pp. 227~228.
- (8) Zheng, H. W., Gao, H., 1994, "A General Thermal Model for Grinding with Slotted or Segmented Wheel," *Annals of the CIRP*, Vol. 43, No. 1, pp. 287~290.
- (9) Desruisseaux, N. R. and Zerkle, R. D., 1970, "Temperature in Semi-Infinite and Cylindrical Bodies Subjected to Moving Heat Source and Surface Cooling," *Journal of Engineering for Industry, Transactions of the ASME*, Vol. 92, No. 2, pp. 456~464.

- (1) Hiroshi EDA, Koza Kishi, Nobuyuki Ushi, Hideo Ueno, Yoshinaki Kakino and Akihiko Fujiwara, 1984, "In-Process Detection of Grinding Burn by Means of Utilizing Acoustic Emission,"