

〈技術論文〉

연속 방전드레싱에 의한 경취재료(硬脆材料)의 경면연삭에 관한 연구

김정두* · 이은상**

(1993년 9월 22일 접수)

A Study on the Mirror Surface Grinding for Brittle Materials with Inprocess E.D.M. Dressing

Jeong-Du Kim* and Eun-Sang Lee**

Key Words : Inprocess E.D.M. Dressing (IEDD, 연속 방전드레싱), Superabrasive Diamond Wheel (초미립자 다이아몬드숫돌), Metal Bond (금속결합제), Ferrite (페라이트), Glazing (날무디어짐), Loading (눈메움)

Abstract

Ferrite is widely used in the material of magnetic head, but is difficult of grinding because of their brittleness and hardness. Therefore, diamond wheel with superabrasive is required for surface grinding of this brittle material. But the conventional dressing method can not apply to the diamond wheel with superabrasive. In this study describes a newly proposed method for carrying out effective inprocess dressing of diamond wheel with superabrasive. Using the IEDD the surface roughness of workpiece was improved and grinding force was very low. Resultly IEDD is good method to obtain the efficiency grinding and surface grinding of brittle materials.

1. 서 론

최근 항공우주산업, 정보기기산업, 메카트로닉스 산업 등 미래지향적 첨단산업분야 재료인 실리콘, 페라이트, 세라믹, 초경합금, 광학렌즈, 복합재료의 수요가 급증하고 있으며, 경면연삭을 완성함으로써 고부가가치를 창출하게 된다.

특히 경취재료중 페라이트는 자기헤드재료로서 전자산업에서 중요한 위치를 차지하고 있으며 재질적으로는 미세크랙 및 칩핑이 생기기 쉽다.⁽¹⁾ 이러한 재료를 가공하는 경우 종전에는 래핑, 폴리싱의 가공공정을 사용하여 왔으나, 생산성 향상, 가공한

경개선 등을 목적으로 래핑 및 폴리싱 공정을 초정밀 연삭가공으로 대체시키는 방법이 활발히 연구되고 있다.⁽²⁾ 최근에 들어서는 초미립자(superabrasive) 다이아몬드 또는 입방결정 질화붕소(CBN)숫돌을 경제적으로 제작할 수 있게 되어 종래의 숫돌로는 연삭이 곤란한 페라이트, 세라믹, 실리콘 및 광학유리 등과 같은 경취재료의 일반연삭 등이 가능할 수 있었으나 경취재료의 정밀연삭을 적용 가능한 숫돌의 입도는 #1000 이상의 초미립자 숫돌이어야 가능하다.⁽³⁾ 그러나 #1000 이상의 초미립자 다이아몬드숫돌을 사용하여 연삭할 경우 눈메움(loading) 또는 날무디어짐(glazing)에 대비한 드레싱에 상당한 어려움이 있다.⁽⁴⁾ 이러한 문제해결을 위한 한 방법으로 숫돌입도에 대한 적용성을 고려한 약전도성 연삭액에 의한 미약한 전기분해에 기반을 둔 전

*정회원, 한국과학기술원 정밀공학과

**한국과학기술원 정밀공학과 대학원

해드레싱법이 있으며, (5,6) 스틱형태의 호닝숫돌을 공작물 옆에 같이 장착하여 연삭가공중 연삭테이블의 이동으로 드레싱이 되는 기계적인 드레싱(7) 이 있다. 그리고, 와이어방전을 연삭숫돌에 적용한 드레싱방법도 제안되었다. (8)

본 연구에서는 전극을 숫돌외경 형상의 1/3크기의 순동을 사용하였으며, 방전간극의 증가에 따른 보정을 위해서 간극센서를 적용하여 연속 방전드레싱(IEDD) 시스템을 구축하고 현재 자기헤드재료로 널리 사용되고 있는 페라이트 경면연삭가공의 특성과 제반 연삭조건에 따른 방전드레싱의 적응성을 고찰하였다.

2. 이 론

연속 방전드레싱에서 사용하는 방전가공은 전극과 공작물(숫돌결합체) 사이에 스파크방전과 그에 따른 과도아크방전의 형태에서 전기적인 에너지를 가하면, 전극과 공작물표면에 방전현상의 결과로, 방전흔적이 만들어지고 소모현상이 발생된다. 방전간극에서 단일 펄스방전의 전압과, 전류의 시간변화특성으로 방전에너지 ϵ 를 표현하면 다음과 같이 표시된다.

$$\epsilon = \int_0^{\tau_{on}} V(t)I(t)dt \quad (1)$$

- ϵ : 방전에너지(J)
- V : 방전전압(V)
- $I(t)$: 방전전류(A)
- τ_{on} : 방전펄스폭(μ sec)

방전전압을 일정한 것으로 가정하면, 방전에너지는

$$\epsilon \propto \tau_{on} I_p \quad (2)$$

이다. 단일 방전에너지로 생기는 방전흔적이 단일 펄스방전에 의한 가공량이다. 따라서, 이론적으로 방전에너지와 단일 방전펄스방전에 의한 가공량 W_0 와는 비례한다고 하면 다음식으로 표현된다.

$$\epsilon \propto W_0 \quad (3)$$

식(2)을 이용하면

$$W_0 = K \tau_{on} I_p \quad (4)$$

W_0 : 이론적 추정 단일펄스방전에 의한 가공량(g/pulse)

I_p : 피크전류(A)

K : 상수

방전전력과 가공량의 비례관계를 표시한 것이고, 방전간극 전압값은 상수에 포함되어 있다. 단위시간당 추정에 의한 평균 가공속도는 W_{0c} 로하면 다음과 같다.

$$W_{0c} = K_c \tau_{on} I_p f \quad (5)$$

f : 방전반복수(Hz)

$$f = \frac{1}{\tau_{on} + \tau_{off} + \tau_w} \quad (6)$$

τ_{off} : 방전휴지시간

τ_w : 전압이 인가된 후 방전개시까지 시간

가공량은 이론적으로 이상과 같이 표현되지만, 방전은 항상 평면에서만 발생하는 것이 아닌 요철부족, 숫돌의 결합제에서 가공되므로 오차는 발생하게 된다. 그러나, 방전가공량의 중요한 변수는 피크전류와 방전폭에 의존함을 알 수 있다.

3. 실험장치 및 방법

Fig. 1은 연속 방전드레싱(IEDD)시스템장치가 장착된 연삭기를 나타낸 것으로, 연속 방전드레싱을 위해서 DC 펄스발생장치가 구성되어 숫돌과 숫돌주위에 설치된 전극에 연결되어 있다. 전극은 순동(99%)을 사용하였고, DC 펄스발생장치 음극과 연결하며, 숫돌은 양극과 연결하여, 방전가공에 의해서 숫돌결합체가 가공되어 연속드레싱이 이루어진다. 연삭가공시 연삭력의 측정을 위해서 자기척위에 공구동력계를 설치하여, 증폭기와 A/D 변환기를 거쳐 컴퓨터로 연삭력 신호를 처리하였다. 또한, 간극센서(gap sensor)를 숫돌주위에 설치하여, 연속으로 방전드레싱에 의한 숫돌소모량을 측정하였다.

Table 1은 연삭가공실험의 조건을 나타낸 표이

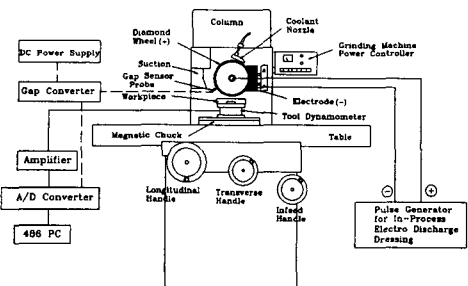


Fig. 1 View of the grinding experimental apparatus with IEED

Table 1 Grinding conditions

Grinding machine	Surface grinding machine (wacheon WGS-64)
Wheel	D4000(D4000N100M3)
Wheel speed	1700 rpm
Table speed	5 m/min
Wheel for truing	GC180(Brake type Truier)
Workpiece	Ferrite
Power source	$I_p=0-3.75\text{ V}$ $\tau_{on}=5-200\ \mu\text{sec}$
Electrode	Copper(1/3 of Wheel size)
Surface roughness tester	Mitutoyo SurfTest-402
Tool dynamometer	Sambo electronic MFG Co. GT type

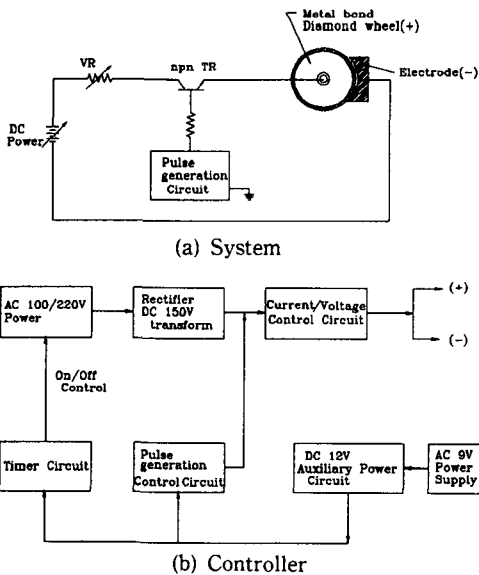


Fig. 2 Schematic diagram of IEDD electrical system

다. Fig. 2는 연속 방전드레싱을 위한 전기적인 펄스방전 시스템구성도를 나타낸 것이다. (a) 전기적 시스템구성도로 DC 전원이 공급되고, 펄스발생 회로에 의해서 2전극간에 방전이 발생되어 슷돌결합체의 가공에 의한 방전드레싱이 진행된다. (b) 연속 방전드레싱 제거기로서 교류전압이 정류기를 통하여 직류 150 V로 변환되어 전류/전압 제어회

로에 공급되고, 직류 12 V에 의한 펄스발생조절기에 의해서 방전간극에서 펄스방전이 발생된다. 연속 방전드레싱을 위한 방전용 DC 펄스발생장치는 펄스폭(τ_{on})과 휴지시간(τ_{off})을 0~1000 μsec 까지 변환이 가능하며, 피크전류는 0~3.75 A까지 변화할 수 있다. 본 실험에서 사용한 슷돌은 금속결합체로 되어있는 다이아몬드스틀(D4000N100M3)이다. 슷돌과 전극사이 간극은 초기에 10 μm 를 고정하고서, 연속 방전드레싱을 이용한 연삭가공을 수행한다. 공작물의 연삭전에 슷돌의 진원을 얻기 위해서 GC180 슷돌은 이용하여 트루잉을 수행하였다. 표면거칠기 측정은 축침식 표면조도계(Mitutoyo SurfTest-402)를 사용하였다. 또한 연속 방전드레싱의 가공후의 면과 방전드레싱의 영향을 고찰하기 위해서 슷돌의 표면을 전자주사현미경(SEM)으로 관찰하였다. Fig. 3은 연속 방전드레싱의 원리를 나타내는 그림으로서, 전극은 99% 순동으로 음극전원과 연결되고, 슷돌의 금속결합체는 양극으로 초기간극은 10 μm 이고, 방전가공에 의해서 슷돌결합체를 제거하는 형태로 진행된다. (a) 음극표면에서 전자가 방출되어 양극(스틀결합체)으로 진행되며, 중간의 절연물 분자와 충돌에 의해서 양이온과 전자로 분리시키게 된다. (b) 분리된 전자가 양극에 도달하고, 양이온은 음극에 충돌하여 음극표면에서 2차전자를 발생시키며, 글로우 방전상태로 된다.⁽⁹⁾ (c) 음극표면에 전류밀도가 증가하여 전자 공급이 비약적으로 증가되어 아크방전 상태로 되며, 이러한 진행상태로 결합체에 방전흔적이 누적됨으로 가공이 된다. (d) 슷돌결합체의 가공이 계속 진행됨으로서 날이 무디어진 슷돌입자는 탈락되고, 새로운 입자가 생성되는 연속 방전드레싱이 진행된다. 다시 간극이 증가되면서 (a)상태로부터

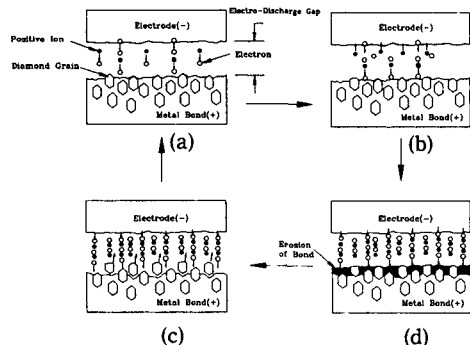


Fig. 3 Schematic diagram of mechanism of IEDD

다시 방전드레싱이 진행된다. 실제의 방전가공에서는 1초간에 수백내지 수십만번의 펄스성 방전을 발생시키지만, 각 단발의 방전은 $10^{-7} \sim 10^{-8}$ 초간의 스파크방전과 그에 계속된 $10^{-3} \sim 10^{-6}$ 초간과도 아크로 되며, 각 단발방전에 의하여 가공물면 위에 미소한 방전흔적이 발생된다. 극간에서는 결합제와 슛돌입자 및 전극의 미소한 방전흔적의 결과로 슛돌입자의 노출과 슛돌입자면에서의 도전피막형성이 일어나게 된다. 이렇게 가공이 진행되어 결합제 가공이 증가되면, 슛돌입자 결합력이 약해져서 탈락됨으로서 새로운 입자 생성으로 드레싱이 된다.

4. 실험결과 및 고찰

4.1 방전드레싱의 특성

Fig. 4는 연속 방전드레싱의 전기적 특성을 나타낸 그림이다. 방전드레싱을 위하여 방전펄스전원을 공급하면, 슛돌의 결합제가 가공됨으로 다이아몬드 입자가 탈락되어 드레싱이 시작된다. 시간이 경과할수록 결합제에 대한 가공량이 증가되어 전극과 슛돌간의 간극이 커짐으로 전기적인 절연성이 증가된다. 따라서, 시간의 경과됨으로서 전류값은 감소되고, 전압값은 증가되게 된다.

Fig. 5는 연속 방전드레싱 진행시 시간의 경과에 따른 전극과 슛돌의 간극상태를 나타낸 것이다. 이 간극을 측정하기 위해서 비접촉 간극센서(gap sensor: Model AEC5505)를 사용하였으며, 정밀도는 $0.5 \mu\text{m}$ 수준이므로 방전간극의 변화를 측정하는데 적절하다. 시간의 경과에 따라 간극이 증가되며, 초기 $10 \mu\text{m}$ 로 고정시켰으며, 50분 경과후 $40 \mu\text{m}$ 로 증가되어 그 이후에는 매우 경사가 완만하여 진다. 이는 간극의 증가로 인해 방전가공의 효과가 매우 작게 되어, 슛돌결합제가 방전가공으로 인해 적게 가공되는 현상을 보인다. 따라서, 일정한 방전드레싱을 위해서 방전간극의 증가에 따라 전극을 슛돌쪽으로 이동시킴으로서 간극보정을 하였다. 슛돌이 완전히 트루잉이 되지 않아서, 진원을 정확히 유지되지 않은 상태에서 전극과의 간극증가에 따라 방전가공성이 조절됨으로 드레싱 뿐만 아니라 트루잉작용도 동시에 진행되게 된다.

4.2 표면거칠기에 미치는 영향

Fig. 6은 방전드레싱의 유무에 따른 표면거칠기를 나타낸 그림이다. 연삭깊이(d; depth of grind-

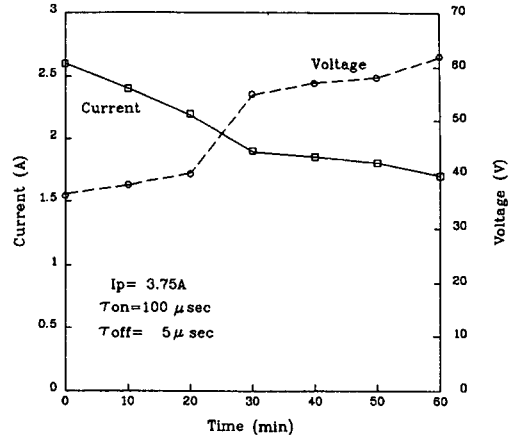


Fig. 4 Electrical behavior of electro-discharge dressing

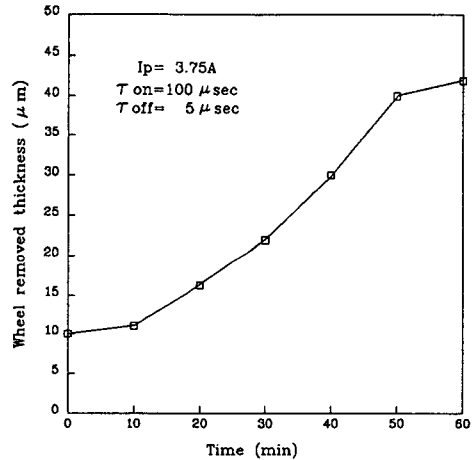


Fig. 5 Relation between time and wheel removed thickness in IEDD

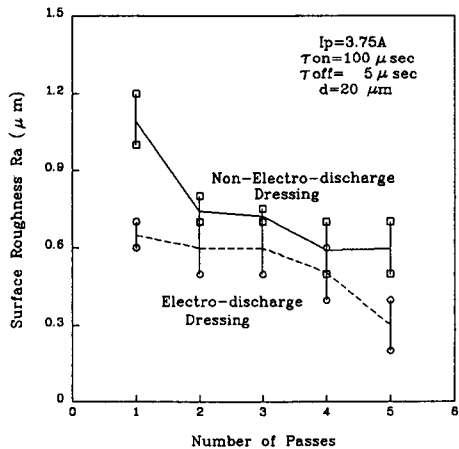


Fig. 6 Relation between surface roughness and number of passes

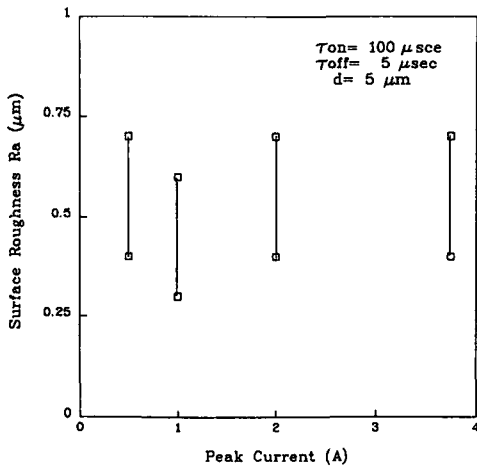


Fig. 7 Effect of surface roughness according to peak current

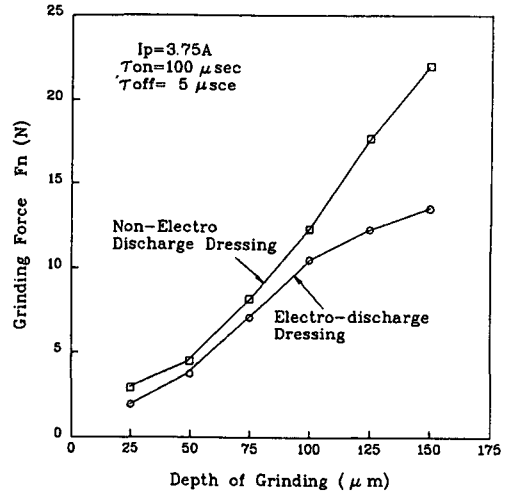


Fig. 9 Result of grinding force according to depth of grinding

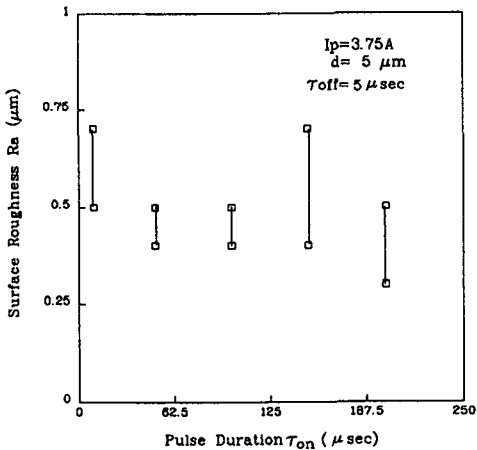


Fig. 8 Effect of surface roughness according to pulse duration

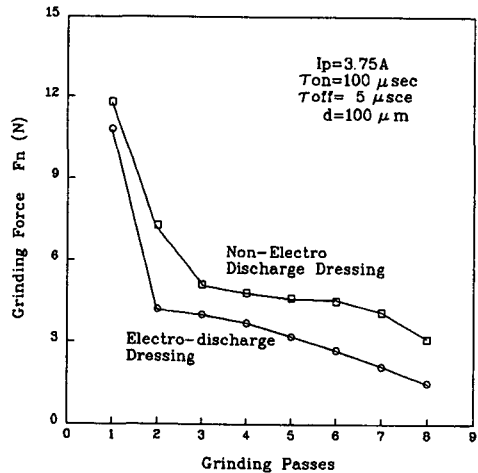


Fig. 10 Result of grinding force according to grinding passes

ing)를 $20\ \mu\text{m}$ 로 고정하고, 페라이트의 한면을 여러 번 연삭숫돌이 지나감에 따라 표면거칠기(Ra)의 향상도를 나타낸 그림으로, 아래의 점선이 방전드레싱을 사용한 실험결과를 나타내고 있다. 방전드레싱을 사용하지 않은 표면거칠기(실선)는 그림에와 같이 4~5번 정도의 가공에 의해서 방전드레싱을 사용한 처음 가공한 표면정도의 거칠기가 나타내게 된다. 이는 연속 방전드레싱에 의해서 연삭가공 진행시 무디어진 연삭입자 날이 탈락되고 계속 새로운 연삭날을 생성하여 가공이 됨으로 표면거칠기에 좋은 영향을 미치게 된다. Fig. 7은 방전드레

싱 전원장치의 피크전류(I_p)에 따른 표면거칠기의 영향을 나타낸 그림이다. 피크전류를 변화하여 실험한후 각표면에 따른 표면거칠기를 측정하여 최소값과 최대값을 나타냈다. 그림에서와 같이 피크전류의 값이 변화하여도 표면거칠기는 커다란 영향을 받지않음을 나타내고 있으며, 이 현상은 숫돌입자의 빠른 탈락으로 인해서 표면거칠기에 양호한 영향을 못 미친것으로 사료된다. Fig. 8은 펄스폭 유지에 따른 표면거칠기 변화를 나타낸 그림이다. 전체적인 경향이 펄스폭을 길게 하면 표면거칠기가 약간 좋아지는 상태를 나타내고 있다. 이는 펄스폭

을 길게하면 슷돌결합체의 가공 진행이 증가하여 새로운 다이아몬드 입자의 생성을 빠르게 하기 때문이다. 그러나, 슷돌결합체의 가공 진행속도가 매우 크면 다이아몬드 입자의 결합지지력이 저하됨으로서 오히려 연삭가공 전에 입자탈락을 유도함으로써 표면거칠기 나쁜 영향을 미치게 될 것이다.

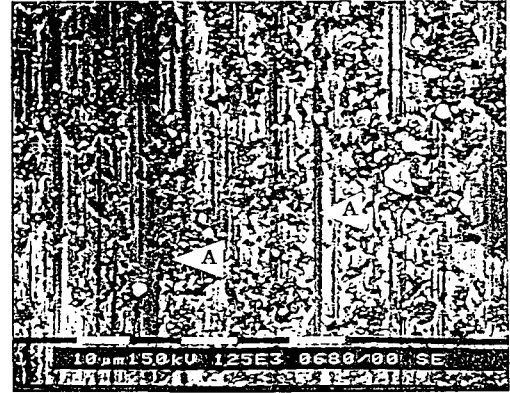
4.3 연삭력에 미치는 영향

Fig. 9는 연삭깊이에 따른 연삭력을 나타낸 그림으로, 수평방향 연삭력(F_t)이 수직방향 연삭력(F_n)에 비해 적은값을 갖음으로 수직방향 연삭력만을 고려하였다. 피크전류($I_p=3.75$ A)와 펄스폭($\tau_{on}=100$ μ sec)은 고정시키고 연삭깊이를 변화시키면서, 연삭력(F_n)을 측정하였다. 방전드레싱이 없이 연삭을 하여 측정한 연삭력값은 연속 방전드레싱을 함으로 측정한 값보다 연삭깊이의 증가에 따라 크게 나타남으로서, 연속 방전드레싱을 이용한 페라이트 연삭가공이 보다 유용함을 알수 있다. 연삭깊이가 증가됨에 따라 날의 무디어짐이 증가되어 연삭깊이가 100 μ m 이상부터는 방전드레싱을 수행하지 않은 연삭력 증가가 보다 커짐을 관찰할 수 있다.

Fig. 10은 연삭스톨이 페라이트 한 표면의 가공 회수에 따른 연삭력의 변화를 나타낸 그림이다. 연삭깊이는 100 μ m로 고정하고 연삭가공을 진행하였으며, 방전드레싱을 사용하지 않은 면의 연삭력이 크게 나타남을 볼수 있다. 방전드레싱 없이 7번 정도의 연삭이 진행되어야 방전드레싱에 의한 2번 정도의 연삭수준의 연삭력에 도달함으로서, 가공성이 매우 떨어짐을 관찰할 수 있다. 이는 연삭가공중 연속드레싱을 적용하지 않음으로 눈메움 및 날무디어짐 현상이 발생하여 연삭저항을 증가시킨다. 따라서, 좋은 가공성과 표면거칠기를 얻기 위해서는 연속 방전드레싱이 좋은 효과를 나타냄을 알수 있다.

4.4 가공표면과 슷돌표면에 대한 영향

Fig. 11은 연삭가공을 수행한 페라이트의 표면을 전자주사현미경으로 관찰한 것이다. (a)는 연속 방전드레싱을 수행하지 않은 일반 연삭가공으로 페라이트표면에 크랙과 취성파괴(A부분)가 많이 발생되어 있음을 볼 수 있다. (b)는 연속 방전드레싱을 사용하여 가공한 표면으로 일반 연삭가공보다 양호한 표면(B부분) 생성을 관찰 할 수 있다. 이



(a) Non-IEDD



(b) IEDD

Fig. 11 SEM photograph of ferrite surface after grinding

현상은 연삭이 진행되면 다이아몬드 슷돌의 일부 입자는 마찰마멸(atrititious wear)에 의하여 입자끝이 무디어져 그레이징되고, 연삭을 계속하여 진행됨에 따라 슷돌의 그레이징된 부분은 점차 성장하고 그레이징된 입자에 작용하는 연삭하중도 무디어진 면적에 비례하여 증가함을 나타낸다.⁽¹⁰⁾ 또한 크랙의 발생은 연삭입자에 걸리는 연삭력과 재료의 경도에 비례하여 증가하므로⁽¹¹⁾ 그레이징된 입자와 작용하는 공작물 표면에서는 크랙이 발생하게 된다. 따라서 방전드레싱이 연속적으로 하지 않았을 때에는 마찰마멸에 의하여 과도하게 무디어진 부분을 갖고 있는 입자가 많음으로서 크랙전파에 의한 크래킹(cracking)과 칩핑(chipping)이 발생하게 되어 취성파괴가 증가한다. 반면 방전드레싱을 연속적으로 적용한 경우에는 방전가공에 의해서 결합체가 가공되어 연삭입자를 지지하는 힘이 작아진다.



(a) Before grinding



(b) IEDD

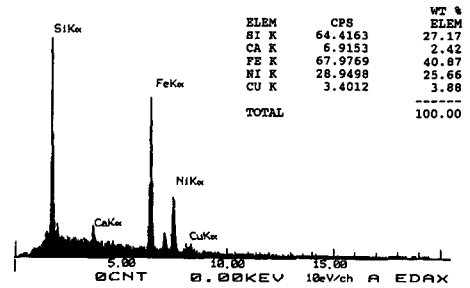


(c) Non-IEDD

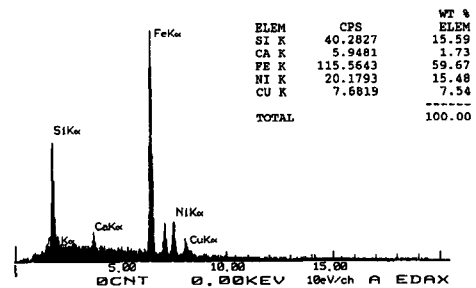
Fig. 12 SEM photograph of Wheel surface A : Grain B : Bond C : Ferriete (loading)

그러므로 연삭입자가 마찰마멸에 의하여 입자 끝이 무디어져 입자에 걸리는 힘이 임계값에 도달하면 그레이징 입자는 쉽게 탈락됨으로 과도하게 마찰마멸된 입자의 발생이 방지된다. 따라서 방전드레싱을 이용하였을 경우, 과도하게 마찰마멸된 연삭입자가 없는 양호한 절삭날을 기대할 수 있어 각각의

연삭입자에 걸리는 하중은 크랙이 발생하기 시작하는 임계치보다 작아 크랙발생이 억제된 상태에서 연삭이 이루어진다. Fig. 12는 슛돌표면을 전자주사현미경으로 관찰한 것으로서, (a)는 연삭하기 전의 슛돌표면을 나타낸 것이고, (c)는 연속 방전드레싱없이 일반연삭을 수행한 후 슛돌표면을 관찰한 것을 나타낸 것이다. 여기서, A는 슛돌입자, B는 결합제, C는 눈에움된 페라이트를 나타낸다. 연속 방전드레싱 사용하여 페라이트를 가공한 슛돌 표면(b)는 연삭가공전(a)와 눈에움이 없는 같은 상태를 보이고 있으나, 일반연삭을 수행한 (c)는



(a) IEDD



(b) Non-IEDD

Fig. 13 Chemical composition of wheel surface

페라이트가 슛돌표면 눈에움된 현상인 C를 관찰할 수 있다. Fig. 13은 전자주사현미경으로 (a) 방전드레싱을 사용한 경우 (b) 방전드레싱을 사용하지 않은 경우 페라이트 연삭가공후 슛돌면의 화학 조성을 분석한 결과이다. 방전드레싱을 사용하였을 때 Fe 67.97 cps이고 방전드레싱을 사용하지 않았을 때 Fe 115.56 cps이며, 슛돌면의 중량조성비를 100%로 기준할 때 Fe는 (a) 40.87% (b) 59.67%이다. 따라서, 방전 드레싱을 사용하지 않았을 경우 연삭시 페라이트(α -Fe)의 눈에움현상이 증가되어 Fe 조성비가 커지며, Fig. 12(c)의 현상과 같음을 알 수 있다. Si 조성은 GC스uttle에 의한 트루잉시 생성된다. 본 분석결과를 통하여 연속 방

전드레싱의 채용이 연삭숫돌을 연속적인 드레싱함으로써 결합체가 방전가공되며, 새로운 숫돌입자가 계속재생되어 날세움으로서 페라이트 표면도 양호하게 생성되고, 숫돌표면 자체에도 눈메움현상을 발견할수 없으므로 페라이트같은 경취재료 연삭에는 연속 방전드레싱 효과가 크다고 할수 있다.

5. 결 론

본 연구를 통하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 연속 방전드레싱을 수행함으로써 페라이트 표면거칠기 향상에 좋은 효과를 나타냈다.
- (2) 방전드레싱을 연속적으로 수행하므로써 날이 무디어지는 그레이징현상을 방지함으로써 연삭가공시 연삭력이 감소하게되는 현상을 나타냈다.
- (3) 펄스폭을 길게함으로 결합체의 방전가공 증가로 인해 새로운 연삭날 생성이 빨라져서 표면거칠기에 좋은 영향을 미치니, 연삭가공에 따른 숫돌의 낭비가 크게된다.
- (4) 연속 방전드레싱을 함으로써 페라이트 가공시 숫돌에 눈메움현상을 방지하는 효과를 나타냄으로서 페라이트 등 경취재료의 연삭가공에 좋은 효과가 있다.

후 기

이 연구는 1992년도 재단법인 산학협동재단과 (주)국제다이아몬드사의 Matching fund 연구비 지원에 의한 결과(과제번호 : 92-131)임을 밝혀두며 심심한 사의를 표합니다.

참고문헌

- (1) Groenou, A. B. and Veldkamp, J. D. B., 1979, *Grinding Brittle Materials*, Philips Technical

Review, Vol. 38, pp. 131~144.

- (2) 大森整, 1991, Elid 鏡面研削技術, Elid 研削研究會, pp. 8~31
- (3) N. N, 1991, “鏡面研削の最新技術動向, 理化學研究所, pp. 147~148.
- (4) Komanduri, R. and Reed, W. R., 1980, “A New Technique of Dressing and Conditioning Resin Bonded Superabrasive Grinding Wheel,” *Annals of the CIRP*, Vol. 29, pp. 239~243.
- (5) Ohmori, H. and Nakagawa, T., 1990, “Mirror Surface Grinding on Silicon Wafers with Electrolytic In-process Dressing,” *Annals of the CIRP*, Vol. 39, pp. 329~332.
- (6) H. Ohmori, 1992, “Electrolytic In-Process Dressing Grinding Technique for Ultraprecision Mirror Surface Machining,” *Int. JSPE*, Vol. 26, No. 4, pp. 273~278.
- (7) 강재훈, 허성중, 김원일, 1993, “연속 드레싱 공정을 이용한 엔지니어링 세라믹스의 평면 연삭 가공에 관한 연구,” 한국정밀공학회지, Vol. 10, No. 2, pp. 178~189.
- (8) Suzuki, K. and Uematsu, T., 1987, “On-Machine Trueing/Dressing of Metal Bond Grinding Wheels by Electro-Discharge Machining,” *Annals of the CIRP*, Vol. 36, pp. 115~118.
- (9) 木本康雄, 1982, 電氣電子應用精密加工, オ-ム社, pp. 15~38.
- (10) Malkin, S. 1971, “The Wear of Grinding Wheels Part 1-Attritious Wear,” *Transactions of the ASME*, pp. 1120~1128.
- (11) Thomas, G. Bifano, 1984, *Ductile-Regime Grinding of Brittle Materials*, Precision Engineering Center North Carolina State University, NG 27695-7918, pp. 325~338.