

〈논 문〉

난삭재의 초정밀·고능률 연삭가공을 위한 다이아몬드숫돌의 개발

허 성 중*

(1997년 7월 18일 접수)

Development of Diamond Wheel for Ultra Precision and High Performance Grinding of Difficult-to-Materials

Seong-Jung Heo

Key Words : Diamond Wheel(다이아몬드숫돌), Die Materials(금형재료), Difficult-To Materials(난삭재), Tungsten Carbide Alloy(초경합금), Self-Sharpener(자생작용)

Abstract

Development of diamond wheel with fine grains and multi-pore structures were newly attempted. Wheels, that are employed for ultra precision and high performance grinding of difficult-to materials such as tungsten carbide alloy using tool and die materials, must have both performances to remove tool marks efficiently and to contact elastically with curved surfaces. Diamond grains were bonded firmly by a melamine resin to prevent the decrease of machining efficiency due to grain sinking within the bond materials. Also, highly foamed structures were developed to increase the flexibility of the wheel, and to induce active self-sharpening by increasing contact pressure between the wheel and work surfaces. In this paper, melamine-bonded diamond wheels are trial manufactured, then the forming method of wheels are suggested, and the grinding characteristics of wheels are also illustrated.

1. 서 론

금형의 가공공정은 형상을 창성하기 위한 형상가공공정 및 평활가공면과 경면가공을 포함하는 다듬질가공으로 구분되며, 양자의 가공공정에는 사용하는 공구의 종류뿐만 아니라 공작기계의 운동방식을 크게 변화시킬 필요가 있다. 따라서 이들 가공공정을 분리시킴과 함께 각 공정을 자동화하려는 연구가 활발하게 시도되고 있다.^(1,2)

그러나 금형의 평활가공 및 경면다듬질가공은 의례 숙련자의 손작업에 의존하는 경우가 많으므로

자동화를 실현하기 위해서는 특히 다듬질 가공행정의 자동화를 강구해야 할 것이다.

이 경우 가공흔적이 없는 금형의 가공면을 얻기 위해서는 연삭숫돌과 가공표면과의 법선방향에 작용하는 연삭압을 일정하게 하는 공구의 자세제어 기술에 관한 연삭장치⁽³⁾와 금형의 곡면에 잘 적용함과 동시에 눈막힘(grazing)과 눈무덤(load)이 발생하지 않아 소정의 연삭성능을 지속적으로 얻을 수 있는 새로운 공구의 개발이 뒤따라야 한다.

공구기술에 관해 다종다양한 공구⁽⁴⁾가 금형의 연삭에 사용되어진 것은 사실이지만 그것들은 평활가공과 경면다듬질가공을 분리하여 행하는 것을 목적으로 개발된 것이므로 다듬질가공행정을 일관시켜

*회원, 두원공업전문대학 기계과

행하는 것을 지향한 것은 아니었다.

예를 들면 평활가공용으로 기공률을 대폭 높인 극미립 비트리파이드본드숫돌,⁽⁵⁾ 경면다듬질용으로 극도로 기공률을 높인 극미립의 PVA 본드숫돌⁽⁶⁾ 등이 이미 개발되어져 있다. 그러나 비트리파이드본드숫돌은 숫돌강성이 높기 때문에 경면을 연기에 곤란한 문제점이 있으며, PVA 본드숫돌은 숫돌강성이 낮기 때문에 형상정도를 연기 곤란한 문제점을 가지고 있었다.

한편 仙波 등⁽⁷⁾은 이와 같은 문제점을 극복하기 위해 발포구조를 가진 멜라민본드 다이아몬드 연삭숫돌을 시험제작하여 강성 및 유연성의 측면에서 상당히 진전된 결과를 얻었다.

이와 같은 배경으로 본 연구에서 금형의 평활가공과 경면다듬질가공을 일관시켜 행하는 것을 지향하는 공구기술의 개발을 시도하였다.

즉, 숫돌의 눈막힘을 방지하고 자생작용을 활성화시켜 평활한 가공면을 고능률로 연기 위해서는 미립의 고정입자를 이용하는 것이 적당하다고 생각하므로, 초미립의 다이아몬드숫돌입자를 탄성정수가 높은 멜라민수지로 결합시켜 발포구조를 가진 숫돌을 시험제작하였다.

숫돌을 발포구조로 하기로 한 까닭은 미립의 다이아몬드 숫돌을 사용할 경우 숫돌의 손모가 급격히 증가하는 문제가 있으므로 기공률을 최대로 하여 단립에 작용하는 연삭저항을 증가시켜 자생작용을 활성화시키고 숫돌에 적절한 유연성을 주어 형상추종성을 가지게 하기 위한 것이다.

또한 시험제작된 다이아몬드숫돌은 별도의 실험조건으로 초경합금재에 대한 평면연삭 실험을 행하여 연삭성능을 평가하였다.

2. 숫돌의 시험제작

숫돌의 성형에 사용된 숫돌입자는 평균입자직경 4~6 μm의 고충격강도 다이아몬드, 결합제로는 레진본드 다이아몬드숫돌의 성형에 많이 사용되고 있는 페놀수지에 비해 탄성률과 강도가 높고 내수성도 우수한 멜라민수지⁽⁸⁾를 사용하였다. 멜라민수지는 경도와 탄성률이 높은 반면 충격력에 대하여 취약한 성질을 가지고 있다.

이들 외에, 수지의 경화반응시에 생기는 수분과 반응하여 이산화탄소를 발생하는 탄화수소 나트륨(SAC)을 발포주제, 산화피로린산소다(SAP)를 발

포주제, 결합제인 멜라민수지의 내충격성을 증가시키기 위해 폴리비닐알코올(PVA)⁽⁹⁾을 가소제로 사용하였다.

탄성률이 높은 결합제를 사용하여 기공률을 높게 하는 과정에서는 기공으로 인해 수지부의 단면적이 좁아지며 발포제의 배합량, 발포제의 배합비 및 가소제의 배합량과 성형온도, 시간 등의 변화에 따라 숫돌의 강도와 발포구조가 달라질 것이다.

따라서 이와 같은 사항들을 관찰하여 미세고발포체를 만들기 위한 숫돌의 강도와 성형온도를 규명하기 위해 우선, 분말시료를 규정된 시험편으로 성형하여 규정의 각도로 유리관위에서 성형온도, 시간 등을 각각 변화시켜 가열용융시킬때 유동낙하된 길이를 측정하는 이른바 유동도시험⁽¹⁰⁾을 통한 기초실험을 행하였다.

유동도 시험의 결과를 바탕으로, 시험제작할 숫돌의 성형온도와 최고온도에 도달하고부터의 가열시간은 수지의 경화반응이 완전히 수행되어지는 것이 규명된 150℃, 30분으로 하고, 충분히 혼합시킨 분말들을 금형에 넣고 가열시켜 우선 1A1 플랫폼의 시험용 숫돌을 성형하였다.

성형후의 숫돌의 외경은 24 mm, 폭은 각각 3, 5, 8 mm 및 숫돌폭의 증감에 따른 공작물의 제거율 추이에 대한 실험을 행하기 위해 8 mm 이하의 다양한 폭으로도 제작하여 금형에 넣은 분말의 체적을 변화시킴에 따라 식 (1)과 같이 정의되는 기공률을 조절하였으나 수지의 경화반응시에 생기는 수분이 미량으로 되는 것과 생성된 기포를 안정화시키는 것이 곤란하여, 최소한 상압 하에서는 기공률 80% 이상의 숫돌을 시험 제작하는 것은 곤란하였다.

$$\alpha_a = V_{air} / (V_{air} + V_{power}) \quad (1)$$

균일한 발포구조를 얻기 위해 필요한 수지량과 그 수지량에 대응하는 발포의 한계치와의 관계를 구하면 Fig. 1의 결과가 얻어졌다. 여기서 수지량과 한계기공률과는 거의 선형적인 관계가 되며, 수지량이 증가함에 따라서 한계기공률은 증가하는 것이 분명해졌다.

Fig. 2는 발포구조를 가진 다이아몬드숫돌의 현미경사진으로 집중도 100, 기공률 60%, 수지량 40%일 때의 가공의 형태를 나타낸 것이다. 여기서, 집중도는 용적퍼센트를 의미하는 것으로 숫돌입자율이 25%인 제품을 집중도 100이라 부르고

4.4 Ct/cm³의 다이아몬드가 포함되어 있으며, 수지량이란 슷돌입자율을 제외한 나머지 용적에 대해 첨가된 제반 수지의 용적 %를 말한다.

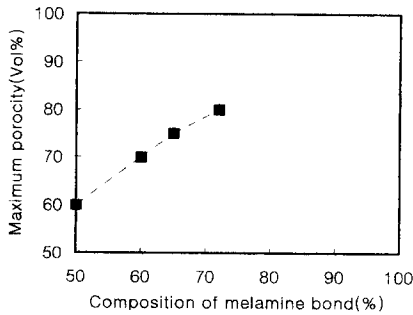


Fig. 1 Maximum porosity and composition of melamine bond



Fig. 2 Microphotograph of pore structure

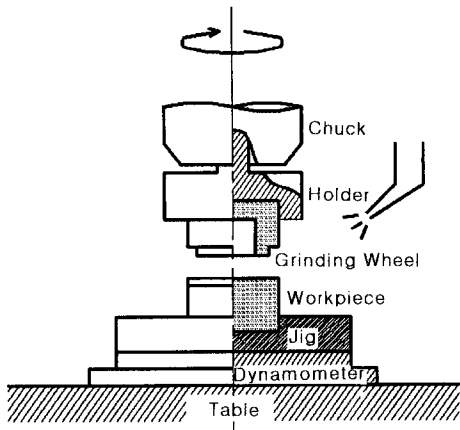


Fig. 3 Experimental apparatus

3. 실험장치 및 방법

실험에 사용된 장치의 개요를 Fig. 3에 나타내었다. 수직형 밀링의 주축에 치공구를 부착하여 시험 제작된 슷돌을 고정시켜, G6계 금형용 초경합금재 (15×15×40 mm)에 대한 평면연삭실험을 행하였으며 자세한 연삭조건은 Table 1에 나타낸 바와 같다.

2 μm의 절삭깊이에 대하여 100패스(pass)의 No-cut 연삭을 행한 후, 다시 2 μm의 절삭깊이를 주는 것과 같은 방식으로 설정 슷돌 깊이량이 40 μm에 도달할 때까지 평면연삭을 행하였다. 공작물의 제거량과 슷돌의 손모양을 측정하기 위해, 양자의 단면에는 미리 100 μm 정도의 단차를 주었다.

또 레진본드 다이아몬드스틀(SDC 600 N 125 RW-3.0)을 사용하여 전가공면을 성형하였다.

4. 실험결과 및 고찰

4.1 슷돌의 기본적인 성질

공작물의 제거량과 슷돌의 손모양은, 슷돌의 집중도와 기공률 등이 달라짐에 따라 변화할 것으로 식 (2), (3)과 같이 공작물의 제거율 ε과 슷돌의 손모양 ω를 공작물의 제거량 Δ와 슷돌의 손모양 δw의 관계로 정의하여 연삭성능을 평가하고자 하였다.

$$\epsilon = (\Delta / \Delta') \times 100 \tag{2}$$

$$\omega = (\delta w / \Delta') \times 100 \tag{3}$$

여기서, Δ'는 설정 슷돌절입량을 나타 낸다.

집중도 C를 50, 100, 발포제의 배합량을 3%, 발포제의 배합비를 67%로 할 때, 슷돌의 기공률을 변화시킨 각 슷돌에 대한 실험을 행하여 공작물의 제거율과 기공률과의 관계 및 공작물의 제거율과 기공률과의 관계를 구하여 Figs. 4, 5의 결과를 얻

Table 1 Grinding condition

Revolution speed of wheel	100 rev/min
Table speed	2 m/min
Setting depth of cut	2 μm
Coolant	Soluble (1/50)

었다.

숫돌의 시험제작과정에서 행한 기초실험의 결과를 근거로 하여 기공률은 최대 70%까지 변화시키기로 하였다.

집중도 C를 100으로 한 경우에는 기공률을 변화시켜도 공작물의 제거율은 거의 변화하지 않지만, C가 50의 경우에는 기공률이 증가함에 따라서 공작물의 제거율은 감소하고 있다.

또 Fig.5에서 숫돌의 손모율은 집중도에 상관없이 최대 5% 정도로 거의 손모되지 않는 것을 알 수 있다.

연삭 후에 관찰된 숫돌의 표면상태는 Fig.6과 같았다. 집중도가 100의 경우에 비해, 집중도가 50의 경우에는 숫돌입자가 숫돌의 표면에서 탈락된 양상을 볼 수 있다.

따라서 집중도 50의 경우에는 기공률이 증가함에 따라 단립에 작용하는 연삭저항이 증가하여 숫돌입자의 탈락이 왕성해지기 때문에 숫돌의 손모율이 증가된 것이라고 생각된다. 다만 숫돌입자가 탈락함으로써 자생작용이 생기지 않았기 때문에 기공률이 증가함에 따라 공작물의 제거율은 감소한 것이라고 판단된다.

한편 집중도 100의 경우에는 작용되는 숫돌입자 수가 많으므로 단립에 작용하는 연삭저항이 작고, 기공률을 증가시킨다고 하더라도 숫돌입자가 거의 탈락하지 않기 때문에 공작물의 제거율은 큰 변화가 없었다고 생각한다.

이와 같이 집중도와 기공률을 변화시키면 숫돌입자의 탈락정도가 달라질 뿐, 시험제작된 숫돌의 자생작용이 생기는 양상은 관찰되지 않았다.

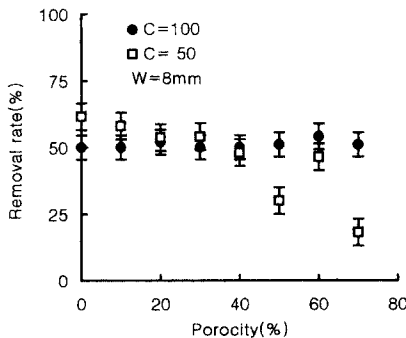


Fig. 4 Removal rate and porosity

4.2 자생작용과 연삭성능

단립에 작용하는 연삭저항을 높이면 숫돌입자가 보다 많이 탈락하고 탈락된 숫돌입자가 결합제를 절삭함으로써 자생작용이 활성화되어질 수 있을 것이라고 여겨진다. 이 경우, 숫돌과 공작물의 사이에 전동하는 숫돌입자의 수를 증가시키기 위해서는 숫돌의 집중도를 높일 필요가 있다. 따라서 집중도가 100의 숫돌에 대해 폭 W를 변화시켜, 자생작용의 양상을 관찰하기 위한 실험을 행하였다.

집중도 C를 100, 기공률을 60%, 발포제의 배합

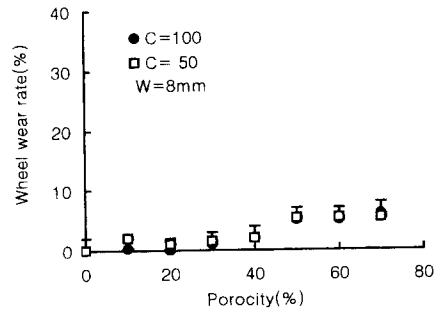


Fig. 5 Wheel wear rate and porosity

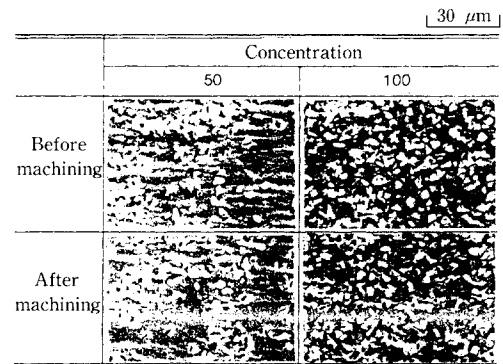


Fig. 6 Microphotographs of wheel surface after grinding

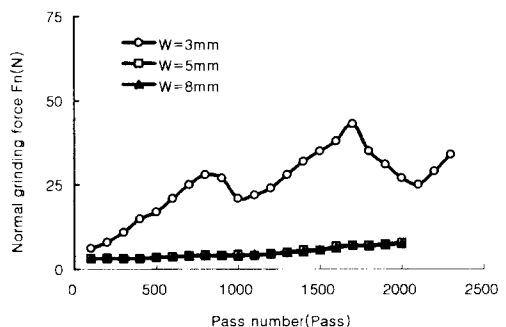


Fig. 7 Normal grinding force and pass number

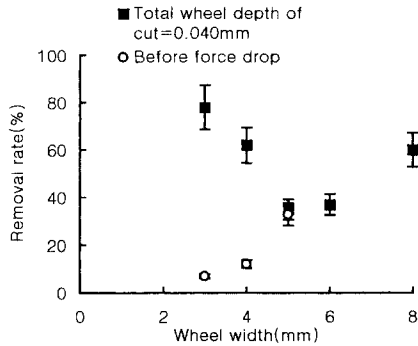


Fig. 8 Removal rate and wheel width

량을 3%, 발포제의 배합비를 67%로 하고 슷들의 폭 W 를 3, 5, 8 mm로 변화시킨 경우에 얻어진 F_n 과 연삭패스횟수와의 관계를 Fig. 7에 나타내었다.

숫들의 폭 W 가 8 mm의 경우, 법선연삭저항 F_n 은 거의 같은 모양으로 증가하고 있음에 대해, W 가 3 mm의 경우에는 증감을 반복하여 가며, 전체적으로는 증가하고 있는 양상임을 알 수 있다. 이러한 현상은 슷들의 폭이 상대적으로 좁은 3 mm의 경우에 슷들입자가 슷들에서 탈락함으로써 주기적으로 자생작용을 일으키고 있는 것으로 볼 수 있다.

이와 같은 사실을 좀더 확실하게 규명하기 위해 실험 후에 얻어진 공작물의 제거율과 W 와의 관계를 Fig. 8, 슷들의 손모율과 W 와의 관계를 Fig. 9에 나타내었다. 여기서 슷들 절입량을 $40 \mu\text{m}$ 으로 설정한 경우의 결과를 ■, F_n 이 최초로 감소하기 직전에 가공을 중단한 경우의 결과를 ○로 나타내었다.

Fig. 8의 결과를 보면, 가공을 도중에 중단한 경우에는 슷들의 폭 W 가 감소함에 따라 공작물의 제거율은 감소하고 있음에 반해, 연삭저항이 감소한 후에도 가공을 계속한 경우에는 슷들 폭 W 가 감소함에 따라서 공작물의 제거율은 증가하고 있음을 알 수 있다.

또 Fig. 9에서 W 가 5 mm이하인 슷들을 사용하여 연삭저항이 감소한 후에도 가공을 계속한 경우에는, 연삭저항이 감소하기 직전에서 가공을 중단한 경우에 비해 슷들의 손모율이 증가하고 있음을 명확하게 알 수 있다.

이들 결과로부터, 슷들입자가 슷들에서 탈락하는 과정에서 법선연삭저항이 감소하여 탈락된 입자가

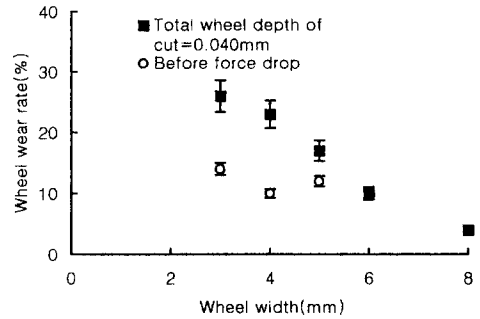


Fig. 9 Wheel wear rate and wheel width

숫들의 수지를 절삭함으로써 자생작용이 생기는 것임을 알 수 있으며 이 자생작용은 슷들의 폭 W 가 좁아짐에 따라서 활성화되기 때문에, 공작물의 제거율이 증가하게 된 것이라고 생각된다.

그러므로 슷들의 단련에 작용하는 연삭저항이 증가함에 따라서 슷들로부터의 연삭입자의 탈락이 활성화되고, 탈락된 입자가 슷들의 수지를 연삭하기 때문에 자생작용을 활성화시킨다는 사실을 알 수 있다.

또 Fig. 7의 결과와 함께 고찰하면, 시험제작된 슷들에 생긴 자생작용에 있어서, 소규모인 슷들입자의 탈락과 자생작용이 균일하게 생기는 것이 아니라 슷들입자가 탈락되어 눈무덤이 생긴 직후에 자생작용이 일어난다고 하는 일련의 변화는 긴 주기를 가지고 연속적으로 생기는 것임을 알 수 있다.

4.3 다른 다이아몬드 연삭숫들과 비교

이상과 같이 시험제작된 다기능 멜라민본드 다이아몬드숫들에서 일어나는 자생작용의 추이를 기존의 연구 결과를 바탕으로 다른 다이아몬드 연삭숫들과 비교해 봄으로써 이 연구에서의 연삭숫들 개발 목적인 슷들의 형상 추종성을 위한 자생작용의 활성화 여부를 중심으로 살펴보고자 한다.

이를 위해 먼저, 현재로서는 초경합금이나 공업용 세라믹스 등의 난삭재가공용으로 가장 널리 사용되고 있는 기존의 무기공 레진본드 다이아몬드 연삭숫들에 있어서 연삭횟수의 증가에 따른 연삭저항의 변화추이를 알기 위해, 눈무덤 등으로 채드레싱이 요구되는 초기 드레싱 후의 슷들날 지속효과에 대해 실험한 저자의 연구⁽¹¹⁾는 Fig. 10과 같다.

Fig. 10에서 무기공 형태인 레진본드 다이아몬드 슷들의 경우, Fig. 7의 경우보다 슷들의 폭이 넓은

에도 불구하고 연삭저항은 법선연삭저항 F_n 과 접선연삭저항 F_t 공히 높게 나타남을 알 수 있다. 이는 레진본드숫돌의 성형에 사용하고 있는 페놀수지에 비해 멜라민수지의 탄성률이 높은 특성에 의한 것으로 생각된다. 또한 연삭횟수가 증가됨에 따른 숫돌의 자생작용 역시 레진본드숫돌에 비해 멜라민본드숫돌이 원활하게 일어남을 알 수 있는 것으로 보아 숫돌의 눈막힘방지 및 고능률적인 가공에도 효과적인 것이다.

단지 멜라민수지는 페놀수지에 비해 충격력에 취약한 성질을 가지고 있으므로 숫돌의 손모율은 높을 것이므로 경제적인 측면을 고려할 때 금형의 경면 연삭을 위한 최종 마무리 가공에 적합하다고 할 수 있다.

또한 기존의 가공률을 높인 극미립 비트리파이드본드숫돌⁽⁵⁾ 및 PVA 본드숫돌⁽⁶⁾과 멜라민본드숫돌의 특성을 비교하여 평가한 것을 Table 2와 같이 요약할 수 있다.

Table 2에서 알 수 있듯이 비트리파이드본드숫돌은 강성에 있어서 특히 높고 인성을 나타내는 잔류변형은 멜라민본드숫돌과 거의 같음을 나타내고 있으며 PVA 본드숫돌은 탄성변형의 특징을 가지고 있다. 따라서 피삭재 제거율과 숫돌의 손모관계를 알고자하는 연삭실험을 행할 경우, 다기공 벨라

민본드 다이아몬드숫돌은 비트리파이드본드숫돌과 거의 같은 성능을 가질 수 있을 것으로 유추할 수 있다.

잔류변형과 인성의 차이로 볼 때, 멜라민본드숫돌의 손모율은 제거율에 비해 높게 나타날 것이며 PVA 본드 연삭숫돌에 비해 제거율은 월등히 높을 것으로 사료된다. 따라서 멜라민본드숫돌은 기존의 PVA 본드 연삭숫돌과 거의 유사한 형상추종성을 가짐으로써 연삭가공 흔적을 효과적으로 제거할 수 있을 뿐만 아니라 자유형상을 가진 가공면에 탄성적으로 접촉함으로써 금형의 경면가공공정과 평화 가공에 응용할 수 있을 것이다.

5. 결 론

금형의 자동연삭을 실현하기 위해서는, 압력절입 방식의 가공에 적합한 공구기술을 개발할 필요가 있다고 생각하여 본 연구에서는 초미립의 다이아몬드 숫돌입자를 탄성정수가 높은 멜라민수지로 결합시켜 발포구조를 가진 숫돌의 개발을 시도하였다.

언어진 연구의 결과를 정리하면 다음과 같다.

(1) 멜라민수지량과 발포한계치를 볼 때, 수지량이 증가함에 따라 한계가공률은 증가한다. 그러나 상압하에서 가공률 80% 이상의 숫돌을 시험제작하는 것은 곤란하였다.

(2) 집중도와 가공률을 변화시켜 숫돌을 제작할 때, 숫돌입자의 탈락정도는 달라지나 숫돌의 손모율은 집중도에 관계없이 최대 5% 정도로 미미하였다.

(3) 숫돌의 단립에 작용하는 연삭저항이 증가함에 따라서 숫돌로부터의 연삭입자의 탈락이 활성화 되고, 탈락된 입자가 숫돌의 수지를 연삭하기 때문에 자생작용을 활성화시킨다. 또한 관찰된 자생작용은 연삭숫돌로부터 입자가 탈락하여 눈무덤이 어느 정도 진행된 직후에 생긴다.

(4) 시험제작된 대부분의 숫돌에 생기는 자생작

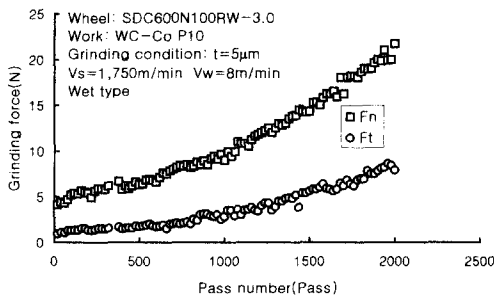


Fig. 10 Effect of the pass number on the grinding force in the case of using resinoid bond diamond wheel

Table 2 Comparison between characteristics of melamine bond diamond wheel and already developed diamond wheel with multi-porous

Bond material	Grain size (μm)	Porosity (%)	Rigidity (MPa)	Residual deformation (%)
Melamine	4~6	60	205	24
Vitrified	4~6	70	2980	22
PVA	4~8	70	164	4

용은 비교적 규모가 큰 슷돌입자의 탈락과 같은 긴 주기로 일어났다. 따라서 연삭부너가 없는 가공면을 얻기 위한 관점에서는 슷돌의 자생작용을 더욱 활성화시킬 필요가 있다.

(5) 다른 다이아몬드 연삭스틀과 시험제작된 연삭스틀의 자생작용의 추이 및 제특성에 대해 기존의 연구를 바탕으로 비교해 본 결과, 슷돌의 바모율은 높으나 자생작용 및 연삭성은 뛰어난을 알 수 있다.

그 외 실험을 통해 발포제의 배합량의 변화 및 배합비의 변화에 따른 자생작용의 활성화 양상을 관찰하였으나 소규모인 슷돌입자의 탈락과 자생작용이 짧은 주기로 연속하여 행해지는 것은 다소 확인할 수 있었지만 현재로서는 자생작용이 항상 생기게 하는 슷돌을 시험제작하는 것에는 여러 가지 문제가 있음을 발견했다.

따라서 이러한 슷돌의 시제품화 및 양산을 위해서는 향후, 여러가지 파라미터의 변화를 통해 소정의 성능을 가지는 슷돌의 시험제작과 이를 대상으로 지속적인 연구의 필요성이 있다고 사료된다.

후 기

이 논문은 1996년도 한국학술진흥재단의 공모과제(과제번호: 06E0103) 연구비에 의하여 이루어졌으며, 도움을 주신 분께 깊은 감사를 포함합니다.

참고문헌

(1) 機械と工具編集部編, 1988, 最新金型製作技術,

日刊工業新聞社, 東京都, pp. 131~142.

(2) 幸田, 1988, 最近の金型仕上げ加工技術(1), 機械の研究, Vol. 40, No. 10, pp. 8~23.

(3) 幸田, 1990, 金型磨き加工とその自動化, 砥粒加工學會誌, 34-2, pp. 9~14.

(4) 機械と工具編集部編, 1988, 最新金型製作技術, 日刊工業新聞社, 東京都, pp. 23~45.

(5) 佐藤豊, 1993, 愛工技センターニュース, 380, p. 3.

(6) 富田洋司, 1993, 固定砥粒加工フォーラムシンポジウムテキスト「固定砥粒加工の先端技術」, pp. 1~7.

(7) 仙波卓彌, 大森舜二, 1994, 多氣孔メラミンボンドホイールの開発と金型材料の精密研削, 福岡大學エレクトロニクス研究所所報, 11, pp. 109~115.

(8) 村橋, 小田, 井本, 1980, プラスチックハンドブック, 朝倉書店, 東京都, pp. 884~889.

(9) 栗原, 1991, 高分子フィールドノート, 日刊工業新聞社, 東京都, p. 126.

(10) 김홍재 역, 1988, 플라스틱재료 강좌 시리즈, 대광서림, 서울, 15권, p. 374.

(11) Seong Jung Heo, 1995, Surface Grinding of Tungsten Carbide for High Quality Using Diamond Wheel, *Journal of the Korean Society of Machine Tool Engineers*, Vol. 4, No. 3, pp. 19~20.