

초경합금 연삭용 비트리파이드 다이아몬드숫돌의 개발

이재우*(두원공과대학 기계학과)

Development of Vitrified Diamond Wheel for Grinding Tungsten Carbide

J. W. Lee(Mech. Eng. Dept., Doowon Technical College)

ABSTRACT

An abrasive vitreous bonded solid mass having a vitrified abrasive structure comprising diamond grains which are held by an inorganic bonding agent, the vitrified diamond wheel is impregnated with a composition which comprises a thermosetting synthetic resin and a surfactant. The vitrified diamond wheel is manufactured by preparing the composition including the resin and the surfactant, impregnating the abrasive structure with the composition, and curing the composition. The diamond wheel newly developed showed excellent performance in grinding carbide.

Key Words : Grinding (연삭), Vitrified diamond wheel (비트리파이드 다이아몬드 숫돌), Carbide (초경합금), Grinding ratio (연삭비), Resin bond (레진 결합제), Metal bond (메탈 결합제)

1. 서론

초경합금의 연삭에는, 플라스틱 계열의 열경화성 수지에 다이아몬드분말을 혼합하여 160℃ 부근에서 가압과 동시에 가열을 하여 제조하는 레진본드 다이아몬드숫돌을 주로 사용하고 있는데, 레진본드는 물리적 성격상 플라스틱 계열의 일종으로 강도 및 인성의 한계 때문에 연삭시에 다이아몬드 입자의 탈락 및 깨짐이 약 30% 이상이 되어 연삭성이 떨어지고, 또한 형상변화가 심하기 때문에 사용중에 자주 트루잉을 하여야 하는 불편함이 있다. 또한, 메탈본드 다이아몬드숫돌은 메탈 파우더와 다이아몬드를 혼합하여 약 600℃~800℃의 범위에서 소결하여 사용하는 다이아몬드 숫돌로서, 메탈합금의 자체인성과 경도의 증가로 다이아몬드의 돌출이 어렵게 되기 때문에 연삭이 잘 안되며, 이 메탈 다이아몬드 숫돌도 드레싱을 자주 행하여야 하는 숫돌이다.

종래의 비트리파이드 다이아몬드숫돌로써 초경합금을 연삭하는 경우에, 용착이나 눈메움이 발생되기 쉬웠고, 다이아몬드 입자의 보지력이 낮아서 다이아몬드 입자의 파쇄나 탈락이 과도하게 일어나게 되어 연삭비가 매우 낮았으며, 연삭 버닝도 많

이 발생하였고, 특히 건식 연삭에서는 결합제와 다이아몬드 입자의 열팽창 계수의 차이로 인하여, 사용이 불가능 할 정도로 연삭이 안 되었으며, 연삭시에 다이아몬드 입자의 돌출 및 예리성 유지가 곤란하였고, 숫돌의 수명이 짧았으며 숫돌의 입자 탈락으로 인한 손상이 자주 발생되었으므로, 비트리파이드 숫돌은 초경합금의 연삭에 전혀 사용되지 않았었다.^{1~4)}

본 연구에서는 상기의 문제점을 해결하기 위한 것으로, 그 목적은 비트리파이드 다이아몬드숫돌을 사용한 초경합금의 연삭에서, 비트리파이드 결합제의 고유의 장점을 발휘하도록 하여, 다이아몬드 입자의 탈락이 적고, 다이아몬드 입자의 예리성이 장시간 유지되어 연삭이 잘 되도록 하며, 고능률 연삭이 가능하며, 눈메움이 발생되기 어렵고 연삭비가 높으며 사용도중에 트루잉 및 드레싱을 자주 행할 필요가 없는, 비트리파이드 다이아몬드 숫돌의 적절한 제조조건을 도출하고자 한다.

2. 실험 방법

피삭재는 P20 재종이었으며, 연삭조건은 Table 1에서 보이는 바와 같다. 연삭동력은 연삭시의 숫

Table 1 Grinding conditions

Wheel size	Outer dia. 205mm, thickness 20mm, inner hole dia. 50.8mm, grinding stone thickness 3mm
Used machine	Surface grinder (motor power for wheel shaft 3.7KW)
Peripheral speed of wheel	1,800m/min
Grinding method	Plunge grinding
Table-feeding rate	15m/min
Grinding width	5mm
Grinding depth	20 μ m
Cutting fluid	Soluble(KS W2)
Dressing condition	? 0.8mm, single-stone diamond, Depth 5 μ m/pass, Lead 0.2mm/rev. of wheel. Dressed at the electric motor power of 2.3KW in case of the vitrified wheels.

Table 2 Chemical compositions of vitrified bonds

	composition	condition 1	condition 2	condition 3	condition 4
Chemical composition (wt%)	SiO ₂	50	47	48	48
	Al ₂ O ₃	20	23	17	17
	B ₂ O ₃	11	12	19	18
	ZnO	1	1	-	-
	PbO	1	1	-	-
	CaO	3	3	1.4	2
	MgO	3.5	3	0.1	-
	BaO	1	1	-	-
	FeO	1	1	0.4	-
	Li ₂ O	3	3	1.6	2
	Na ₂ O	3	4	9.0	10
	K ₂ O	3	3	2.9	3
	TiO ₂	-	-	0.4	-
P ₂ O ₅	0.5	-	0.2	-	
Manufacturing condition	Manufactured with the volume composition of example 1 of Table 3. Hot pressed at 850°C with 50MPa during 4hrs under inert gas atmosphere.				

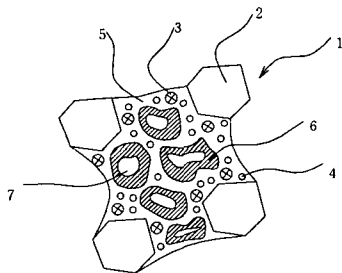


Fig. 1 Structural model of the vitrified wheel developed
(2: diamond grain, 3: first filler, 4: second filler, 5: bond, 6: impregnated resin, 7: pore)

Table 3 Volume compositions of different bonded wheels

	diamond	bond		first filler		second filler	
		penol	penol	SiC	SiC	Cu	Cu-Sn
example 1	30		18	SiC	12	Cu	8
example 2	30		17	SiC	13	Cu-Sn	7
comparison 1	40		17	SiC	6	Cu-Sn	4
comparison 2	25		20	SiC	17	Cu-Sn	8
comparison 3	30		18	Al ₂ O ₃	14	Cu	6
comparison 4	30		18	TiC	12	Cu-Zn	8
comparison 5	28		28	SiC	14	-	-
comparison 6	40		26	Al ₂ O ₃	8	-	-
comparison 7	25	penol	40	SiC	20	graphite	15
comparison 8	25	penol	50	Cr ₂ O ₃	25	-	-
comparison 9	25		67	-	-	-	-
comparison 10	25		(Cu 80 wt%, Sn 10 wt%, Ge 3 wt%, Ag 7 wt%)	-	-	-	-
			(Cu 77 wt%, Sn 20 wt%, Ge 3 wt%)	-	-	-	-

Continued Table 3

	impregnated resin	porosity	removal rate of pore by resin	bond type
example 1	20	12	63	condition 1, vitrified
example 2	23	10	70	condition 1, vitrified
comparison 1	10	23	30	condition 1, vitrified
comparison 2	20	10	67	condition 1, vitrified
comparison 3	20	12	63	condition 1, vitrified
comparison 4	20	12	63	condition 1, vitrified
comparison 5	-	30	-	vitrified
comparison 6	-	26	-	vitrified
comparison 7	-	4	-	resin
comparison 8	-	4	-	resin
comparison 9	-	8	-	metal
comparison 10	-	8	-	metal

돌축 모터의 소비전력을 측정하였다. 표면거칠기는 접촉식 표면거칠기 시험기를 사용하여 10점 평균 거칠기 값(R_a)을 구하였으며, 슷돌 마멸은 전사법으로 측정하였다.

비트리파이드 슷돌에서 결합제의 화학 조성의 영향을 조사하기 위하여 Table 2와 같이 화학 성분을 4종류의 조건으로 변화시켰다. Table 3의 실시예 1 및 2, 비교예 1~4의 결합제의 조성은 Table 2의 조건 1으로 하였으며, 모든 비트리파이드 슷돌의 제조조건은 Table 2에 보이는 바와 같다. Fig. 1은 본 개발에 의한 실시예 1 및 2에서 나타내는 비트리파이드 다이아몬드 슷돌의 모델 그림을 보인다. 또한, 실시예 1, 2 및 비교예 1~4의 슷돌은, 액상 수지나 고상 수지에, 알콜이나 기타 휘발성 물질(벤젠, 신나 등)을 무게비로 약 2배에서 5배 정도 첨가하여 완전히 용해될 때까지 교반시킨 후에, 이 용액에 소결된 비트리파이드 슷돌을 넣어서 1시간

이상 흔들어 주면, 알콜 등과 함께 용해되어 있는 수지가 비트리파이드 슯돌의 기공 사이로 침투하게 된다. 함침된 다이아몬드 슯돌을 꺼내어 건조시키면, 휘발성 물질이 제거되며, 함침 수지가 소결되는 온도인 약 150~400℃에서 수지가 함침된 슯돌을 소결하면 함침 수지가 경화되며, 이 함침 수지에 의해 기공이 적절히 메꾸어지도록 처리하였다. 또한, 비교를 위한 비트리파이드 슯돌인 비교예 5의 화학 조성(wt%)은 SiO₂ 50%, Al₂O₃ 30%, CaO 2%, Na₂O 5%, K₂O 3%, Li₂O 2%, B₂O₃ 8%로 하였으며, 비교예 6의 화학 조성(wt%)은 SiO₂ 50%, Al₂O₃ 25.7%, CaO 2%, Na₂O 5%, K₂O 3%, Li₂O 2%, B₂O₃ 8%, PbO 2%, F 0.3%, P₂O₅ 2%로 하였다.

본 연구에서 개발된 비트리파이드 다이아몬드 슯돌과의 성능 비교를 위한 레진 본드 슯돌은, Table 3의 비교예 7, 8에서 나타내는 다이아몬드 입자, 본드, 충전제, 유탄제 및 기공의 체적비율로서, 금형을 사용한 가열 압축(hot press) 공정에 의해 160℃, 50MPa의 조건에서 3시간 유지하여 성형하였으며, 80℃에서 최고온도까지의 승온속도를 3℃/min으로 하였고, 승온하는 도중에 100℃~120℃의 시점에서 일시적인 가압 해방에 의한 1회의 가스 뽑기를 행하였다. 또한, 성능 비교를 위한 메탈 본드 슯돌은 Table 3의 비교예 9, 10에서 보이는 다이아몬드 입자, 결합제, 기공의 체적비율로 구성되며, 결합제용 입자는 10μm 미만 크기의 Cu, 33Cu-67Sn, Sn, Ge, Ag 분말을 배합하였다. 33Cu-67Sn 합금 분말을 사용한 것은, 단체 분말 보다 금속간 화합물의 생성이 촉진되기 때문이다. 배합된 이러한 분말들을 볼밀에 의해 에탄올을 사용하여 습식으로 16시간 혼합한 후에, 다이아몬드 입자를 다시 혼합하여, 금속의 본체와 함께 금형에 넣고 700℃, 50MPa에서 2시간 가열 압축(hot press) 공정에 의해 제조하였다.

3. 실험결과 및 고찰

Table 4는 Table 2에서 보인 화학조성의 비트리파이드 슯돌로서 Table 1에서 보이는 연삭조건에서 연삭한 경우의 연삭비, 전력소모량 및 표면거칠기를 나타낸다. 조건 1의 연삭비, 저력소모량 및 표면거칠기 값이 가장 작고, 조건 2~4로 갈수록 연삭 성능이 나빠짐을 보인다. B₂O₃의 함유량이 너무 높으면 용융 점도가 낮아서 유동성이 증대하고, 결합강도가 저하되므로, Table 4로부터 적절한 B₂O₃의 함유량은 11% 인 것으로 보인다. SiO₂의 함유량이 50% 이하로 한 것은 SiO₂의 함유량이 너무 높으면 충분한 소결을 위해서는 높은 소결 온도가 필요하며, 본 개발의 목적을 달성하기 어렵게 되기 때문이며, 그러나

Table 4 Grinding performance of condition 1~4

performance condition	grindig ratio	electric power consumption (W)	surface roughness (R _a)
condition 1	280	1800	2.5
condition 2	230	1840	2.6
condition 3	180	1860	2.7
condition 4	120	1900	2.8

(measured after stock removal of 1000mm²)

SiO₂의 함유량이 너무 낮으면 결합강도가 저하되므로 50% 미만으로 하는 것은 바람직하지 않은 것으로 판단된다. 또한, Al₂O₃의 함유량이 너무 높으면 용융점도가 높아져서 입자와의 젖음성이 저하되며 Al₂O₃의 함유량이 너무 낮으면, 소결후의 결합제의 안정성이 저하되므로 적절한 Al₂O₃의 함유량은 20% 인 것으로 보인다.

CaO와 MgO의 함유량이 너무 낮으면 충분한 소결을 위하여 높은 소결온도가 필요하며, CaO와 MgO의 함유량이 너무 높으면 용융 점도가 낮아서 유동성이 증가되고, 입자 유지력이 저하되고, 취성이 커져서 내충격성이 낮아지므로, CaO와 MgO는 소결후의 결합제의 안정성의 관점에서 CaO를 3%, MgO의 함유량 3.5%로 하는 것이 바람직하다.

또한, 혼합 입자의 산화를 방지하고, 열팽창계수를 작게하며, 용융상태에서 결합제의 표면 장력을 낮추며, 입자에 대한 젖음성을 증가시켜 강력한 입자 지지력을 얻기 위하여 ZnO가 반드시 필요한 것으로 보인다. 또한, Table 1의 조건 3 및 4에서는 PbO, P₂O₅가 함유되어 있지 않으나, 조건 1 및 2에서는 PbO를 첨가하였으며, 조건 1에서는 P₂O₅를 첨가하였다. 조건 1, 2의 Li₂O의 함량은 조건 3, 4에 비해 다소 증가시켰는데, 본 개발의 비트리파이드 슯돌은 보조입자로서 SiC를 다량 함유하나, 비트리파이드 결합제의 열팽창 계수가 다이아몬드 입자 및 SiC 입자와 매우 다르기 때문에, 다른 복수의 입자를 단일 종류의 결합제로 강건하게 결합할 수 없어 다이아몬드 입자 탈락의 원인이 될 수 있으나, PbO, P₂O₅ 및 Li₂O의 첨가에 의해 결합제 성분 중의 주성분인 SiO₂의 그래스화가 용이하게 된 것으로 보인다.

Table 5는 Table 3에서 나타낸 각종 슯돌의 연삭비, 전력소모량 및 표면거칠기 값을 보인다. 비트리파이드 결합제의 화학 조성(wt%)은 SiO₂ 50%, Al₂O₃ 20%, B₂O₃ 11%, ZnO 1%, PbO 1%, CaO 3%, MgO 3.5%, BaO 1%, FeO 1%, Li₂O 3%, Na₂O 4%, K₂O 3%, P₂O₅ 0.5%로 하며, 다이아몬드 입자의 용적율(Vol%)을 30%로 하고, SiC 입자의 용적율을 12%,

Table 5 Grinding performance of the wheels in Table 3

	grindig ratio	electric power consumption (W)	surface roughness (R _a)
example 1	786	1600	2.3
example 2	770	1630	2.3
comparison 1	382	1750	2.6
comparison 2	323	1700	2.5
comparison 3	304	1780	2.5
comparison 4	286	1740	2.6
comparison 5	245	1820	2.7
comparison 6	238	1890	2.8
comparison 7	267	1900	2.9
comparison 8	255	1860	2.8
comparison 9	266	2000	3.1
comparison 10	259	2050	3.2

(measured after stock removal of 1000mm³)

Cu 입자의 용적율을 8%로 하고, 레진의 함침 용적율을 20%로 하며, 기공의 용적율이 12%로 된 비트리파이드 다이아몬드 스톨의 연삭 성능은 레진 본드 다이아몬드 스톨 및 메탈 본드 다이아몬드 스톨에 비해 우수한 연삭 성능을 보이며, 비교예 7, 8의 레진 본드 다이아몬드스톨 및 비교예 9, 10의 메탈 본드 다이아몬드스톨 보다 우수한 성능을 나타내었다.

실시예 1에서는 Cu 분말이 첨가되었는데, 이러한 금속 분말은 비트리파이드 결합제와의 친화성이 좋으며, 비트리파이드 결합제의 사이 사이에 융착한 상태로 존재하게 된다. Cu 분말은 소결시의 비트리파이드 결합제와 다이아몬드와의 열팽창 계수 차이에 의한 균열 등의 문제 발생을 억제하며, 연삭시에 다이아몬드 입자의 조기 탈락을 방지하고, 그 특성에 따른 연삭 저항을 낮추는 효과를 가지는 것으로 보인다.

함침 수지에 의해 기공이 적절히 메꾸어지므로 연삭칩이 칩포켓을 메우기 어렵게 되고, 융착이나 눈매움의 발생이 억제된다. 또한, 기공을 메우는 함침 수지는 다이아몬드 입자에 비하여 연질이므로, 피삭재인 초경합금의 연삭시에 연삭칩에 의하여, 마모되어 오목(凹) 상태로 되고, 다이아몬드 입자의 파괴나 탈락이 과도하지 않고 적절하게 행해져서 연삭 버너도 방지됨과 동시에, 비트리파이드 다이아몬드 스톨의 눈매움이 일어나지 않도록 유지되며, 고품화된 수지의 탄성효과로, 과도한 연삭에 의해서도, 다이아몬드입자의 파손이나 손상이 방지된다. 또한, 무기 결합제에 의해 결합되어 있는 다이아몬드 입자는 수지에 의해서도 보다 강하게 결합 유지되므로, 다이아몬드 입자의 보지력이 높아져서 다이아몬드 입자의 조기 탈락이 억제되므로 높은 연삭비가 얻어지는 것으로 보인다.

비트리파이드 다이아몬드 스톨은 레진본드 스톨

에 비해 결합제의 강성 및 입자 결합력이 크기 때문에, 입자간의 보지력이 우수하며, 다이아몬드 입자의 탈락이 어렵고, 메탈 본드 다이아몬드 스톨에 비하여 눈매움이 발생되기 어렵다. 따라서 레진 본드와 메탈본드 다이아몬드스톨과는 달리 스톨에 적절한 최소한의 기공을 유지시켜, 연삭칩의 배출이 용이하게 되는 등의 이유에 의해, 실시예 1의 비트리파이드 다이아몬드스톨이 초경합금의 연삭에서 레진 본드와 메탈본드에 비해 우수한 성능을 발휘한 것으로 판단된다.

4. 결론

비트리파이드 결합제의 화학 조성(wt%)은 SiO₂ 50%, Al₂O₃ 20%, B₂O₃ 11%, ZnO 1%, PbO 1%, CaO 3%, MgO 3.5%, BaO 1%, FeO 1%, Li₂O 3%, Na₂O 4%, K₂O 3%, P₂O₅ 0.5%로 하며, 다이아몬드 입자의 용적율(Vol%)을 30%로 하고, SiC 입자의 용적율을 12%, Cu 입자의 용적율을 8%로 하고, 레진의 함침 용적율을 20%로 하며, 기공의 용적율이 12%로 된 비트리파이드 다이아몬드 스톨의 연삭 성능은 레진 본드 다이아몬드 스톨 및 메탈 본드 다이아몬드 스톨에 비해 우수한 연삭 성능을 나타낸다.

후기

본 연구의 내용은 참고문헌에 기재된 바와 같이, 2002년 7월 24일부로 특허 출원¹⁾이 되어 있으며, 2002년 7월 25일부로 제품이 시장에 출시되었습니다.

참고문헌

1. 이해동, 이재우, " 초경합금 연삭용 비트리파이드 다이아몬드 스톨," 대한민국 특허출원, 출원번호 10-2002-0043737, 2002.
2. 이재우, " 슈퍼피니싱용 피트리파이드 스톨," 대한민국 실용신안등록, 등록번호 2002598960000, 2001.
3. 이해동, 이재우, " 슈퍼피니싱용 피트리파이드 스톨," 대한민국 실용신안등록, 등록번호 2002518750000, 2001.
4. 이재우, "볼베어링 레이스면의 슈퍼피니싱에 관한 연구," 한국정밀공학회 2001 추계학술대회는 문집, pp. 879-883, 2001.