

흑연의 구상화기구를 이용한 주철본드 다이아몬드 슷돌의 개발

Development of Cast Iron Bonded Grinding Wheel by Using Spheroidization Mechanism of Graphite

유 기 태(부산대 대학원), 정 해 도(부산대), 전 형 일(부국개발)

K.T. Yoo(Graduate school, Pusan National Univ.), H.D. Jeong(Pusan National Univ.), H.I. Jeon(Bookuk Company)

ABSTRACT

Grinding has been adapted as a finishing process, which can carry out form and surface integrity at the same time. Recently, high efficient and precise grinding technique is required because the needs for functional parts such as silicon wafer, ceramic, and electric materials are increasing. Accordingly, the development of grinding wheel appropriate to that purpose is very important. So, in this paper we newly developed a diamond grinding wheel by applying the superior characteristics of spheroidal graphite of the cast iron sintered product. Especially, a electric resistance sintering method was applied in which rapid heat treatment is possible. Finally, we have achieved successful results that the grinding wheel has high hardness, durability and grinding ability, and satisfies above conditions.

key words : high efficient and precise grinding(고능률, 고품위 연삭), cast iron sintered product(주철 소결품), spheroidal graphite(구상 흑연), electric resistance sintering(저항소결), bubble theory(기포설),

1. 서 론

일반적으로 고능률·고품위 연삭가공을 위해서는 가공목적에 부합한 연삭스틀을 선택하고, 그 연삭스틀을 적절한 가공조건하에서 사용하며, 동시에 연삭스틀의 연삭특성을 항상 양호하게 하면서도 일정하게 유지할 필요가 있다. 그러므로 연삭스틀에 있어서 결합재의 역할은 매우 중요하며 가공물의 종류에 따라서 결합재의 종류도 선정되어야만 한다. 연삭스틀에 적용되고 있는 결합재는 레진, 메탈 및 비트리파이드본드 등이 있고, 현재 레진본드가 가장 널리 사용되고 있으나 메탈 및 비트리파이드본드의 수요가 점차 증가하고 있는 추세이다.

한편 메탈본드중 주철본드스틀들은 Cu, Co 등과 같은 일반적인 메탈본드스틀에 비해, 고강도이며 취성이 있으며 자기윤활성(自己潤滑性)을 구비하고 있다. 또한 주철본드스틀들은 눈막힘이 잘 생기지 않으며, 드레싱성도 양호하고, 연삭비도 현저하게 높다.[1] 따라서 상대적으로 양호한 가공면 거칠기를 얻을 수 있다. 또한 주철의 경우, 일반적인 편상흑연주철에

비해 구상흑연주철이 보다 높은 강도, 경도 및 내마모성 등의 많은 우수한 특성을 가지고 있다.[2]

본 연구에서는 주로 파인세라믹, 초경합금과 같은 난삭재와 실리콘 웨이퍼와 같은 경취성재료의 고품위·경면연삭에 적용하기 위하여, 주철을 결합재로 이용하여 고품위 연삭가공에 적합한 다이아몬드 연삭스틀의 개발을 시도하였다. 이를 위해, 종래의 메탈본드보다 향상된 물리적 특성을 가지도록 구상흑연을 함유한 주철을 만들어 이를 결합재로 이용함으로써 보다 높은 강도 및 연삭성을 갖는 슷돌을 개발하였다.

2. 구상화기구

일반적으로 구상화(Spheroidization) 조직이라고 하는 것은 강이나 주철에 있어서 페라이트 기지에 구상화된 탄화물 입자가 균일하게 분포된 상태를 말한다. 구상화는 높은 온도와 오랜 가열시간에 의해 충분한 확산반응을 통하여 이루어지며 구상화된 미세조직은 매우 안정된 조직이다.

특히 구상흑연주철은 주철관뿐만 아니라 자동차

부품에도 응용되고 그 용도와 생산량은 꾸준히 확대되어, 철계주물에서 차지하는 비율은 점차 커져가고 있다.

2.1 구상흑연주철의 특징

주철중의 구상화현상은 원래 분말단조용 원료분말로써 절삭칩의 재생을 위해서 연구하던 중에 발견되었다. [3]

절삭칩을 분쇄한후 회주철 분말의 함유탄소량을 3.5%로부터 1.4%정도까지 제거한 것을 분말단조용 원료로써 사용했더니 인장강도가 상당히 증가함을 알수 있었다. 이러한 고강도의 소결품을 금속조직적으로 살펴보면 대부분의 흑연이 구상화되어 있고, 또한 균일하게 분포해 있다.

2.2 기포설

일반적으로 오스테나이트상에서의 탄소의 최대 용량인 1.5%이하에서는 구상화가 쉽게 일어나지만 그 이상의 과잉탄소를 함유하고 있는 경우에는 구상화가 일어나기 어렵다. 이런 경우에는 Mg, Ce와 같은 구상화제의 역할인 기포를 인위적으로 용탕내부에 생성시킴으로써 탄소의 함유량에 관계없이 구상흑연을 생성할 수 있다.

3. 주철본드 다이아몬드 슷들의 제작

구상흑연주철을 실제로 다이아몬드 슷들의 결합재로 사용하기 위해서 어떠한 제작조건들이 필요한지 여러 가지 시행착오를 거쳐서 새로운 슷들을 만들었다.

3.1 주철 성형체의 구상화 기구

먼저 연삭스�들의 제작에 앞서, 다이아몬드 입자는 넣지 않고 결합재(주철+카보닐철분)만을 가지고, 여러 가지 조건하에서 세그먼트 타입의 금형을 이용해서 주철성형체를 제작해 보았다.

Table 1 Segment Conditions

조성	압력(ton/cm ²)			탄소함유량
	8	4t	1.5	
Cast Iron + Carbonyl Fe (4:6)	6	5	2	1.53%
Cast Iron (100%)	6	2	2	3.82%

Table 1에 세그먼트 성형 조건을 나타내었다. 성

형압력의 차이를 준 이유는 각각 다른 성형압력하에서 기포발생정도가 어떠하며 또한 냉간성형압력이 슷들 결합체의 정도 및 강도에 미치는 영향 등을 알아보기 위한 것이었다. 또한 카보닐 철분을 섞는 것은 주철만을 사용했을 때보다 높은 입자파지력을 가지며 또한 탄소함유량을 낮출 수 있기 때문이다.

Table 2 Experiment Conditions

분말 (결합제)	주철분말(C함유량 3.82%, 밀도 6.688g/cm ³)
	카보닐철분(C함유량 0.00%, 밀도 7.79g/cm ³)
세그먼트용 금형 (냉간성형))	면적(37.5×4.2×2EA=3.15cm ²) 체적(37.5×8×3=0.9cm ³)
저항소결로	SINTRIS (흑연전극 사용)
원형전기로	열처리용, 수소환원분위기
냉간프레스	총가압하중 60ton, 실린더 단면적(254.47cm ²)

Table 2에 실험에 사용한 제원을 나타낸다. 소결은 급열, 급냉이 가능한 저항소결기를 이용하였다. 소결을 통해서 기포를 함유한 백주철을 제작할 수 있고, 다음 소결을 마친 후, 다시 이것을 열처리를 통해서 구상흑연조직을 만들고자 하였다.

Table 3 Electric Sintering Conditions

Current	112A
Force	100kg/cm ²
Temp	997℃
Open Temp	300℃
Holding Time	0sec
Total Sintering Time	937sec

저항소결기에서의 소결조건은 Table 3과 같다. 여기서 가압량을 100kg/cm²정도로 작게 한 것은 가능한 주철내부에 기포를 많이 발생시키기 위한 것이다. 또한 일정온도 유지시간을 0sec로 전혀 주지 않은 것은 1000℃ 가까이까지 급열시키다가 다시 급냉을 시키고자 한 것이었다.

이렇게 제작한 시편들은 모두 형상이 일그러져 있었다. 이것은 세그먼트가 저항소결기의 흑연금형과 반응을 일으켰기 때문이다. 즉 흑연금형의 탄소가 세그먼트 쪽으로 확산하여 시편이 구상화 되는 것을 방해하였던 것이다.

Fig 1 및 Fig 2는 이러한 시편들의 조직 현미경 사진을 나타낸다. Fig 1 a)는 구형의 기공들이 생겨 그 속에 흑연이 석출되어 있는 것이 보이나 아직은 완전한 구상화가 되지 않았고, 또 구상흑연의 크기

가 좀 작다. b)는 구형의 기공속에 석출된 흑연이 균테균테 보이고 있다. 또한 불안정하게 보이는 편상부분도 약간 보인다. c)는 기포가 생긴 흔적이 많이 보이고 이곳에 흑연이 보이고 있으나 편상인 부분도 함께 존재함을 알 수 있다. Fig 2에서는 전부 구상 흑연은 찾아보기 힘들고 편상으로 존재하는 흑연만을 볼 수 있다. 이는 주철만을 사용했기 때문에 소결성이 떨어지고 또한 흑연금형과의 반응 때문에 표면에 악영향을 미쳤기 때문인 것으로 사료된다.

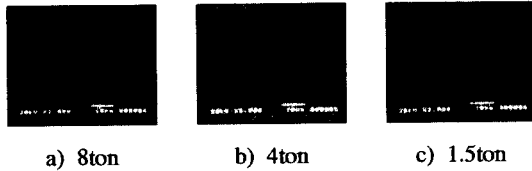


Fig 1 SEM Photo after Electric Resistance Sintering (Cast Iron + Carbonyl Fe (4:6))

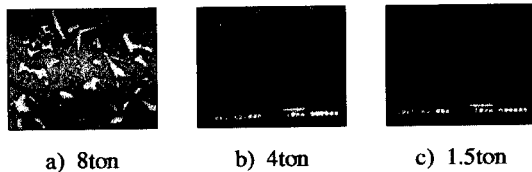


Fig 2 SEM Photo after Electric Resistance Sintering (Cast Iron (100%))

3.2 다이아몬드 연삭숫돌의 제작

실험에 사용된 제원은 Table 4와 같다.

Table 4 Experiment Conditions

분말 (본드재)	주철분말(C함유량 3.82%, 밀도 6.688g/cm ³) 카보닐철분(C함유량 0.00% 밀도 7.79g/cm ³)
Segment용 금형 (냉간성형물드)	면적(34×7.5=2.55cm ²) 체적(34×7.5×5=1.275cm ³)
이형제	BN(Boron Nitride)
저항소결로	SINTRIS (흑연전극 사용)
원형전기로	열처리용, 수소환원분위기
냉간프레스	총하중 60ton, 실린더 면적(254.47cm ²)
Concentration	75(3.3ct/cm ³)
DIA / Mesh	GE MBG620, 325/400

앞의 세그먼트의 제작에서 있었던 문제점인 흑연 금형과의 반응을 억제시키기 위해서 이형제를 사용하였다. 처음에는 알루미나 파우더를 발랐으나 반응을 억제하는데에는 별 효과가 없었기에 이형제로

BN을 사용했었더니 이번에는 반응을 억제하는데에는 정말 효과적이었으나 mold와 segment와의 열전달까지 차단을 해버려서 소결이 잘 되지 않는 또다른 문제점을 낳았다. 그래서 앞의 실험과는 약간 다른 조건인 holding time을 늘리고 또한 가압의 양도 늘려서 소결성을 촉진시키면서 실제로 다이아몬드 입자를 넣어서 컵 타입의 연삭숫돌을 제작해 보았다.

Fig 3은 제작한 숫돌 세그먼트의 조직사진과 숫돌의 외관을 나타낸다.

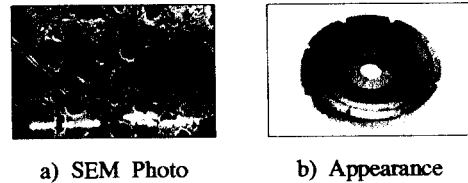


Fig 3 Manufactured 4" Cup Type Wheel

그림에서 겹쳐 보이는 부분이 흑연이 구상화되어 있는 부분이며 이러한 세그먼트들의 경도 측정결과를 Table 5에 나타낸다.

Table 5에서 알 수 있듯이 일반적인 숫돌소결품의 경도인 80~90보다 훨씬 크게 나옴을 알 수 있다.

Table 5 Hardness Test Results (Rockwell B-type)

구분	부위별 경도					평균값
Cast+ Carbo nyl	시편1	105	107	105.5	106	105.88
	시편2	106	107.5	106	107	106.63
	시편3	106	107	106	105	106

3.3 연삭가공 테스트

위에서 제작한 4" Cup Type의 숫돌이 실제로 가공시에 얼마나 우수한 연삭특성을 나타내는지 연삭가공 테스트를 해보았다. Table 6에 실험제원을 나타내었다.

Table 6 Grinding Test Conditions

사용기계	Infeed Grinding Machine (시작기)
시험편	알루미나세라믹
	초경합금
숫돌 회전수	1000 rpm
공작물 회전수	300 rpm
숫돌이송량	2μm / min
연삭액	수용성 30:1

공작물 플레이트에 초경과 세라믹을 Wax Bonding으로 붙이고 숫돌의 가공면을 공작물의 중심에 오도록 조정하여 같은 방향으로 회전시키면서 일정한 속도로 절입하면서 가공하였다.

Fig 4에 Infeed Grinding Machine(시작기)에 제작한 숫돌을 장착해서 연삭가공을 하고 있는 모습을 나타낸다.

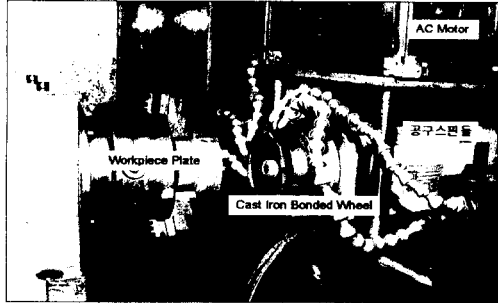
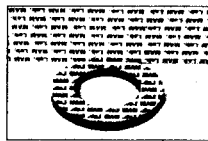


Fig 4 Appearance of Grinding Test

4. 실험결과

Fig 5는 가공한 초경 및 알루미나 세라믹의 외관을 잘 나타내고 있다. 그림에서 알 수 있듯이 초경과 같은 경우는 완벽하게 경면을 나타내었고 세라믹도 평탄하고 깨끗한 가공면을 보임으로써 고품위 연삭이 가능함을 증명하고 있다.



a) Tungsten Carbide



b) Alumina Ceramic

Fig 5 Ground Workpiece

Table 7에 연삭가공후의 가공물의 표면거칠기 및 숫돌의 각각의 가공물에 대한 연삭비를 나타내고 있다. 표면거칠기는 Form Talysurf Series를 이용해서 측정하였다. 초경과 같은 경우는 Ra 0.0088 μ m로 폴리싱에 가까운 가공효과를 보이며 또한 세라믹도 Ra 0.1746 μ m으로 좋은 표면거칠기를 보여주고 있다. 반면, 가공시에 숫돌은 거의 마모가 일어나지 않았다.

연삭비는 일반적으로 숫돌의 집중도 및 본드재 또한 피삭재에 따라 크게 달라지는데 같은 집중도의 다른 결합재의 숫돌 즉 레진이나 비트리파이트 혹은 Cu, Co와 같은 메탈본드의 동일한 집중도의 숫돌에 비해서 측정상 어려움으로 정확하게는 알 수 없으나 대략적으로 비교하면 300 이상으로 큰 값을 보였다.

Table 7 Experiment Results

Workpiece		Alumina Ceramic	Tungsten Carbide
Results	Surface Ra	0.1746 μ m	0.0088 μ m
	Roughness Rmax	2.1002 μ m	0.0869 μ m
G-Ratio		more than 300	

5 결론

본 연구에서는 주철소결품에서 발견할 수 있었던 구상화현상을 살펴보고 이것을 실제로 주철본드 다이아몬드 숫돌에 적용해 보았다. 이를 유도하기 위한 몇가지 실험들을 통해서 적용할 수 있는 가능성을 검토해 보았다. 기본적으로는 기포설을 바탕으로 해서 탈탄이 되지 않은 일반적인 회주철을 이용해서 제작해 보았다. 구상화를 실현하기 위해서 내부에 기포발생이 용이하도록 급열, 급냉이 가능한 저항소결기를 이용하였으며 이렇게 발생된 기포속으로 흑연이 생성될수 있도록 열처리를 하였다. 이와같이 해서 제작된 segment는 기존의 saw나 숫돌에 사용된 segment에 비해서 높은 경도를 나타내었다. 한편 실제로 제작한 숫돌의 연삭테스트를 통해서 표면 거칠기 및 연삭비를 알 수 있었고 이에 고품위 및 동시에 고통을 연삭가공에 대한 우수한 성능을 나타내었다.

본 실험에서는 제작상 여러 제약조건으로 세그먼트 타입으로 숫돌을 제작하였으나 향후 일체형 타입의 숫돌이 제작가능하다면 훨씬 탁월한 성능을 발휘할 것으로 기대해본다.

후기

본 논문은 통상산업부와 과학기술처에서 시행한 선도기술개발사업(G7 Project)의 기술개발 결과입니다. 이번 연구를 위해서 아낌없는 도움을 주신 한국생산기술연구원(KITECH) 관계자 여러분께 감사드립니다.

참고문헌

- [1] 萩生田 善明, 刈入 勝比古, 中川 威 雄, "鑄鐵 보ンド다이아몬드砥石의製作", 일본정밀공학회지, 53-10 '87-10-1562
- [2] 中川 威 雄, 枯 建三, "粉末冶金による鑄鐵中の黑鉛球狀化機構の解明"
- [3] 枯 建三, 原 善四郎, 明智 清 明, "通電熔結した氣孔殘留白鑄鐵における球狀黑鉛の生成" 일본금속학회지, 제45권, 제4호, pp.438-445