

볼베어링 레이스면의 슈퍼피니싱에 관한 연구

이재우* (두원공과대학 기계과)

A Study on the Superfinishing of Ball Bearing Race

Jae-Woo Lee (Mech. Eng. Dept., Doowon Technical College)

ABSTRACT

This paper aims to clarify the effect of the sol-gel sintered alumina grain and the PbO content of binder on the performance of the vitrified alumina stone for superfinishing the ball bearing race with the vitrified alumina superfinishing stone. The main conclusions obtained were as follows. The stone that contain 8~11% PbO in binder shows the highest grinding ratio, and increasing or decreasing the PbO contents causes lower grinding ratio. When superfinishing with the stone using the 45% fused alumina and 55% sol-gel sintered alumina grain, the grinding ratio becomes the best, the other ratio of grain contents shows lower performance. With increasing the bending strength of stone, the grinding ratio becomes larger. The roughness of the finished surface is the lowest in case of using the stone of the above mentioned conditions.

Key Words : Ball bearing (볼베어링), Race (레이스면), Superfinishing (슈퍼피니싱), Stone (숫돌), Grinding ratio (연삭비), Surface roughness (표면거칠기)

1. 서론

최근 볼베어링 레이스면의 최종 다듬질인 슈퍼피니싱용 숫돌로는 CBN, 다이아몬드입자를 피트리파이드 결합제로 결합시킨 것을 적용시키기 위한 시도가 관련 산업체에서 많이 행해지고 있다. 그러나 이러한 초경질 입자를 사용한 비트리파이드 숫돌은 숫돌에 사용되는 입자의 가격이 높기 때문에 숫돌의 가격이 매우 비싸다. 또한 CBN과 다이아몬드 입자를 사용한 숫돌은 슈퍼피니싱 중에 입자가 오랫동안 예리한 상태를 유지하기 때문에 절삭성 및 공구수명은 양호하나, 표면거칠기가 알루미늄이나 혹은 탄화규소 입자를 사용한 경우 보다 나빠지는 경향을 가진다. 따라서 이러한 초경질 입자를 사용한 슈퍼피니싱용 숫돌은 소형의 볼베어링 레이스면의 가공에 한정되어 사용되어 있고, 아직까지는 일반적인 볼베어링의 슈퍼피니싱에는 알루미늄 입자(WA) 및 탄화규소 입자(GC) 등의 일반 입자를 사용한 비교적 저가인 비트리파이드 슈퍼피니싱 숫돌이 많이 사용되고 있는 상황이다.

그러나 현재 볼베어링의 슈퍼피니싱에 일반적으로 사용되고 있는 알루미늄 및 탄화규소 비트리파이드 숫돌은, 입자가 연질이기 때문에 숫돌의 마멸이 매우 크며, 따라서 숫돌의 마멸을 억제하기 위하여 경한 숫돌을 선정하면 숫돌의 수명은 길어지지만 고절삭성이 만족되지 못하는 문제가 발생하였다.¹⁾

최근, 베어링의 고성능, 고수명화에 관련하여 슈퍼피니싱 가공이 특히 중시되고 있고, 더욱이 경제성도 고려하여 단시간에 0.05~0.1 μ m 이하의 경면 다듬질과 고정도 및 고절삭량이 요구되고 있으며, 특히 고절삭량은 가장 중요한 요구 조건으로 되어 있다.

본 연구에서는 연질 입자를 사용한 숫돌의 이러한 문제를 해결하기 위하여, 알루미늄질 입자를 사용한 비트리파이드 슈퍼피니싱용 숫돌 중에 솔-겔 소결 알루미늄질 입자를 함유시키고, 결합제 중에 PbO를 함유시킨 비트리파이드의 숫돌의 성능을 비교, 검토하고자 한다.

2. 실험방법

Table 1 Superfinishing conditions

	Conditions
Rotation of workpiece	5000rpm
Race diameter of workpiece	16.444mm
Superfinishing time	1min
Oscillation frequency	400cpm
Oscillation amplitude	1.73mm
Contact pressure	0.6MPa
Cutting fluid	KS type2-2
Maximum inclination angle	0.48°
Stone size	4× 5× 25mm
Grain size of stone	#3000

Table 2 Chemical composition of tested binder

Tested No.	Chemical composition(wt%)					Total amount (%)
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	RO	R ₂ O	B ₂ O ₃	
binder 1	48.2	16.8	2.0	13.8	19.2	100
binder 2	50.8	20.8	1.0	17.8	9.6	100
binder 3	50.8	20.8	1.0	8.6	18.8	100
binder 4	47.5	17.5	2.2	15.6	17.2	100

Table 3 Contents of used grains

Stone No.	Used abrasive grain(wt%)		Total amount (%)
	WA	SA	
stone 1	40	60	100
stone 2	40	60	100
stone 3	40	60	100
stone 4	100	0	100

Table 4 Chemical composition of tested bond

Binder No.	Chemical composition(wt%)						Total amount (%)
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	RO	R ₂ O	B ₂ O ₃	PbO	
binder 11	50.8	20.8	1	18.2	9.2	0.0	100
binder 12	48.8	20.3	1	18.2	8.7	3.0	100
binder 13	49.3	20.3	1	16.2	7.2	6.0	100
binder 14	48.3	19.8	1	15.2	6.7	8.0	100
binder 15	47.8	18.8	1	15.2	5.2	11.0	100
binder 16	45.8	17.8	1	15.2	5.2	14.0	100

사용된 피삭재는 연삭가공이 행해진 볼베어링 #6201로서, 재종은 베어링강재인 STB2이며, 강도 HRC 58/62이다. 전가공인 연삭면의 표면거칠기는 1.2 μ mRz였으며, 슈퍼피니싱 조건은 Table 1과 같다.

슈퍼피니싱용 공작기계는 Femur SF-300를 사용하였으며, 공작기계에 숫돌을 설치한 후에는, 공작물과 숫돌과의 사이에 연마포지 120메쉬를 삽입하고서 드레싱을 행하였다. 절삭유는 비수용성 절삭유 2종-2호를 3 l /min의 유량으로 주입하였으며, 5 μ m 필터를 통하여 탱크로부터 주입되도록 하였다. 각 조건당의 시편수는 5개로 평균값을 취하였다. 절삭량은

Table 5 Contents of used grains(wt%)

Stone No.	WA	SA	binder used
stone 11	100	0	binder 11
stone 12	45	55	binder 11
stone 13	45	55	binder 12
stone 14	45	55	binder 13
stone 15	45	55	binder 14
stone 16	100	100	binder 14
stone 17	45	55	binder 15
stone 18	45	55	binder 16
stone 4	100	0	binder 4

Table 6 Contents of used grains(wt%)

Stone No.	WA	SA	binder used
stone 21	100	0	
stone 22	85	15	
stone 23	65	35	binder 14
stone 24	45	55	
stone 25	25	75	
stone 26	0	100	

정밀 다이알게이지를 사용하여 직경의 감소를 측정하고 체적으로 환산하였으며, 숫돌의 마멸량은 마이크로 전자저울을 사용하여 무게를 측정한 후에 체적감소량으로 환산하였다. 가공면의 표면거칠기는 접촉식 표면거칠기를 사용하여 측정하였으며, 숫돌의 로크웰경도(H스케일)를 측정하여 결합력을 판정하였으며, 숫돌의 내구성을 평가하기 위하여 굽힘강도를 측정하였다.

화학 조성의 영향을 조사하기 위하여, 결합제 중의 산화규소, 알루미늄, RO, R₂O, B₂O₃의 함량을 Table 2와 같이 4종류로 변화시켰으며, Table 2의 결합제 조건에서, 용융 알루미늄(WA)입자와 솔-겔 소결알루미늄(SA)입자의 함량 변화의 영향을 조사하기 위하여 Table 3과 같이 4 종류로 변화시켰다. 또한 PbO 첨가의 영향을 조사하기 위하여 Table 4와 같이 PbO의 함량을 6 종류로 변화시켰으며, 단 이 경우에 PbO 이외의 화학성분이 다소 변화되었다. 여기서 RO는 알카리 토류금속의 산화물을 의미하며, R₂O는 알카리 금속산화물을 의미한다.

또한 용융 알루미늄입자와 솔-겔 소결알루미늄의 함량이 미치는 영향을 조사하기 위하여 Table 4의 결합제 조건에 대해 솔-겔 알루미늄 입자의 함량을 Table 5와 같이 변화시켰다.

한편, 솔-겔 소결알루미늄 입자 함량의 영향을 명확히 하기 위하여, 결합제의 조성을 Table 4의 결합제 14로 일정하게 하고, Table 6과 같이 입자의 함량을 6 종류로 변화시켰다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1 저온 소결용 결합제를 사용한 경우의 스톤 성능

Table 7에 저온용 비트리파이드 결합제의 함량을 달리한 스톤으로 슈퍼피니싱 한 때의 스톤의 로크웰 경도, 연삭비, 굽힘강도 및 가공면의 표면거칠기를 보인다. 솔-겔 소결알루미나 입자는 고온에서 비트리파이드 결합제와 반응하여 성능이 떨어지기 쉬우므로 900℃ 정도의 온도에서 소결하는 것이 바람직하다. 이를 위해서는 SiO₂나 Al₂O₃의 함량을 감소시키고, 1가의 알카리금속 산화물 및 B₂O₃의 함량을 증가시키는 것이 바람직하다.

스톤 1은 용융 알루미늄입자만으로 구성된 스톤 4에 비해 연삭비가 현저히 낮으며, 스톤 2와 스톤 3은 연삭비가 용융 알루미늄입자만으로 구성된 스톤 4와 거의 동일한 값을 나타낸다. 따라서 솔-겔 소결 알루미늄입자를 사용함에도 불구하고, 용융 알루미늄입자만으로 구성된 스톤 보다 성능의 향상, 특히 절삭성의 향상이 없다고 할 수 있다. 따라서 솔-겔 소결알루미나 입자는 저온용 비트리파이드 결합제에서 효과를 발휘하지 못한다고 할 수 있다.

Table 7 Superfinishing performance in case of using binder for low temperature sintering

	hardness (RH)	stock removal (mm ³)	bending strength (MPa)	grinding ratio (G)	surface roughness (Ra)
stone1	-23	3.51	33	28.0	0.070
stone2	-27	4.91	43	51.5	0.063
stone3	-24	4.91	41	49.5	0.065
stone4	-28	5.01	41	50.0	0.063

3.2 결합제에서 PbO 함량의 영향

Table 4와 같이 PbO 함량을 변화시킨 화학성분을 가지는 결합제 11~16을 사용하여, Table 5에 보이는 입자 함량을 가지는 스톤 11~18을 제작하고, 용융 알루미늄 입자만으로 된 일반 스톤 4와 비교를 행한 결과 Table 8과 같은 결과가 얻어졌다.

모든 스톤의 로크웰 경도는 -20~-30의 범위였다. 모든 피삭재에서 버닝이 발생하지 않았다. 가공면의 표면거칠기값은 용융 알루미늄 스톤에 비하여 절삭량이 많은 솔-겔 소결알루미나 입자를 혼합한 스톤이 낮다. 솔-겔 소결알루미나 입자를 혼합하고 비트리파이드 결합제 중에서 적절한 PbO 함량을 가진 스톤은 스톤 입자의 탈락이 적고, 적절한 눈매음 현상이 일어나고, 입자 절삭날의 예리성이 적절히 유지되기 때문에 가공면이 좋아지는 것으로 판단된다.

Table 8에서 스톤 11은 용융알루미나질 입자를 100wt% 함유하며 PbO를 함유하지 않는 결합제 11로 되어 있는 것으로 성능이 나쁘다. 그러나 솔-겔 소결 알루미늄입자를 사용한 경우는 전반적으로 성능

Table 8 Effect of PbO content on superfinishing performance

	hardness (RH)	stock removal (mm ³)	bending strength (MPa)	grinding ratio (G)	surface roughness (Ra)
stone11	-28	4.76	40	46.0	0.065
stone12	-27	4.91	43	51.5	0.062
stone13	-27	5.31	52	68.0	0.061
stone14	-29	5.51	75	96.0	0.052
stone15	-28	5.76	102	143.0	0.048
stone16	-26	5.16	47	59.5	0.062
stone17	-27	5.86	98	140.0	0.048
stone18	-26	5.51	67	90.0	0.060
stone 4	-28	5.01	41	50.0	0.063

이 향상되었다. 또한 비트리파이드 결합제 중에 PbO가 함유된 스톤도 성능이 향상되었다. 특히 솔-겔 소결알루미나 입자를 포함하고, 비트리파이드결합제 중에 PbO의 함량이 8~11wt%인 스톤 15, 17은 절삭량은 10% 향상되고 연삭비는 2배 이상으로 되었으며, 비트리파이드 결합제 중에 PbO의 함량이 8~11wt%인 스톤은 성능이 가장 좋게 나타났다. 비트리파이드 결합제 중에 PbO의 함량이 14wt%인 스톤 18은 용융 알루미늄 입자로 된 일반 스톤인 스톤 4보다 성능이 1.8배 좋지만, 스톤 17 보다는 낮은 성능을 보였다.

솔-겔 소결 알루미늄으로 구성된 스톤 15와 솔-겔 소결 알루미늄 입자를 함유하지 않은 스톤 16은 결합제는 동일하나, 솔-겔 소결 알루미늄으로 구성된 스톤 15가 솔-겔 소결 알루미늄을 가지지 않은 스톤 16보다 2배 이상의 연삭비를 나타내었다. 따라서 솔-겔 소결 알루미늄과 비트리파이드 결합제 중의 PbO가 상승효과에 의해 보다 높은 성능을 보이는 것으로 판단된다.

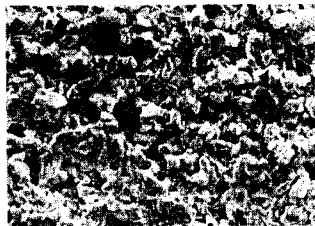
PbO는 비트리파이드 결합제의 용융을 돕는 역할을 가지므로 연삭성능에 나쁜 영향을 미치지 않는 약 900℃ 정도의 저온 소결을 가능하게 한다. PbO는 비트리파이드 결합제가 용융한 후에, 용융 점도의 변화는 그다지 일어나지 않고, 솔-겔 소결알루미나 입자의 특성을 살릴 수가 있다. 또한 PbO는 알루미늄과 화학 결합성이 좋다. 비트리파이드 결합제의 열팽창계수는 입자와 가능한 한 유사할수록 좋다. 일반적으로 입자와 비트리파이드 결합제의 열팽창계수가 ± 2× 10E-6 이상이 되면 결합체에 균열이 발생하고 입자의 탈락이 촉진된다. PbO는 솔-겔 소결 알루미늄입자와 유효한 화학 결합을 하고, 솔-겔 소결알루미나 입자의 열팽창계수를 적절히 유지하여 입자의 조기 탈락을 방지하고, 솔-겔 소결알루미나 입자의 절삭 작용을 도와서 보다 높은 절삭성과 고수명의 슈퍼피니싱스톤의 제조가 가능하도록 한다고 판단된다.

3.3 솔-겔 소결알루미나 입자 함량의 영향

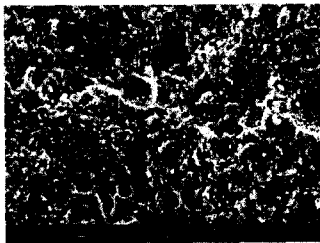
또한 솔-겔 소결 알루미나의 함유량과 슈퍼피니싱 성능의 관계를 조사하였다. Table 5와 같이 용융

Table 9 Effect of the contents of WA and SA grains

	hardness (RH)	stock removal (mm ³)	bending strength (MPa)	grinding ratio (G)	surface roughness (Ra)
stone21	-28	5.01	41	50	0.063
stone22	-25	5.21	62	78	0.062
stone23	-29	5.46	74	98	0.061
stone24	-26	5.61	102	143	0.048
stone25	-25	In early superfinishing, the loading was occurred, prohibiting normal superfinishing.			
stone26	-28				



(a) stone 4



(b) stone 24

100µm

Fig. 1 Worn surface of stone 4 and 24

알루미나(WA)와 솔-겔 소결알루미나(SA)의 함유 비율을 변화시키고, 결합제로는 본드 14의 결합제를 사용하였다. 그 결과를 Table 9에 보인다.

숫돌 21~숫돌 26에 대하여, 로크웰 경도는 -20~-30의 범위이었다. 숫돌 25와 숫돌 26은 연삭 초기에 눈매움이 발생하여 정상 연삭이 불가능하였다. 숫돌 21~숫돌 24에 대하여는 피삭재에 버닝이 발생하지 않았다. 일반 숫돌인 숫돌 4에 비하여 절삭량이 많은 숫돌은 숫돌 4에 비해 표면거칠기가 좋게 되었다. 그러나 이것들의 수치는 허용되는 범위 내이므로 그다지 문제가 되지 않는다.

Fig. 8은 용융알루미나 입자를 사용한 숫돌과 적절한 PbO 함유량과 솔-겔 알루미나입자를 함유한 숫돌 24의 마멸면을 보인다.

Table 9에서 보이는 바와 같이 솔-겔 소결 알루미나 입자의 함유량이 전체 입자량에 대하여 35wt% 부터 솔-겔 소결 알루미나 입자 첨가의 효과가 나타나기 시작하고, 55wt% 까지 절삭량, 굽힘 강도 모두 증가하고 연삭비도 커진다. 그러나 솔-겔 알루미나 질 입자가 75wt% 보다 많아지면 눈매움이 발생하고 정상적인 연삭이 불가능하였다.

따라서 비트리파이드 슈퍼피니싱 숫돌 중에서 솔-겔 알루미나질 입자의 함유량은 숫돌 중의 입자의 전체 함유량에 대하여 55wt%가 바람직하다.

4. 결론

알루미나질 입자와 솔-겔 알루미나질 알루미나 질 입자를 함유시키고, 결합제 중에 PbO를 포함시킨 비트리파이드의 숫돌의 성능을 검토한 결과 다음과 같은 결론이 얻어졌다.

- 1) 결합제에서 PbO를 8~11% 함유시킨 경우의 연삭비가 가장 높으며, PbO의 함유량이 이 보다 높거나 낮은 경우는 연삭비가 낮아진다.
- 2) 용융 알루미나 45%와 솔-겔 소결 알루미나 55%로 된 경우가 연삭비가 가장 높으며, 솔-겔 소결 알루미나입자의 함유량이 이 보다 높거나 낮은 경우는 연삭비가 낮아진다.
- 3) 숫돌의 내구성이 증가할수록 연삭비가 증가함을 보인다.
- 4) PbO를 8~11% 함유하고, 용융 알루미나 45%와 솔-겔 소결 알루미나 55%로 된 숫돌의 표면거칠기가 가장 작다.

후기

본 연구를 위하여 주식회사 다이아피플(인천광역시 남동구 고잔동 653-7 남동공단 105B-8L)에서 연구비의 전액을 지원하였으며, 이에 당사의 이해동사장님께 깊은 감사를 드린다.

참고문헌

1. Puthanangady, T. and Malkin, S., "Experimental Investigation of the Superfinishing Process." Wear, Vol. 185, pp. 173-182, 1995.