

적층 다이아몬드 스톨로 연삭된 초경합금의 표면거칠기 특성

김 강[#]

Surface Roughness Characteristics of Cemented Carbide Ground by Laminated Diamond Wheel

Kang Kim[#]

ABSTRACT

It was already proven experimentally that the laminated grinding wheel is superior to the general grinding wheel in the productivity of grinding. However, it can't be guaranteed when the workpiece material is cemented carbide. Because of its extreme hardness, the grinding wheels made up of super-abrasives are used for grinding it. So, to investigate the performance in extremely hard materials grinding using super-abrasive grinding wheels, the surface roughness characteristics of cemented carbide ground by the laminated diamond wheels are studied experimentally. Through this study, it is found that the similar surface roughness characteristics, those were found in the studies on the laminated aluminum oxide wheels, are still available.

Key Words : Surface Grinding(평면연삭), Laminated Diamond Wheel(적층 다이아몬드 스톨), Cemented Carbide(초경합금), Surface Roughness(표면거칠기)

1. 서론

연삭작업은 황삭가공 후 정삭가공을 하기 위하여 정삭용 연삭스톨로 교체해야 하고, 스톨 교체 시마다 밸런싱(balancing), 트루잉(truing), 드레싱(dressing) 등의 비효율적인 작업을 필요로 한다. 이런 작업 과정들은 생산 현장에서 생산성을 저하시키는 문제점을 가지고 있으므로, 비부가가치 작업 시간을 감소시키기 위하여 스톨의 양 측면에는 황삭지립을, 가운데에는 정삭지립을 스톨 폭 기준으로 1:1:1 이 되도록 고안된 적층 연삭스톨

(laminated grinding wheel)이 개발되었다. 선행 연구에서는 알루미늄산화물의 지립을 가진 일반 연삭스톨과 적층 연삭스톨을 사용한 연삭가공을 연삭면 특성 및 생산성 측면에서 비교하였으며, 이 결과 적층 연삭스톨의 활용 가능성이 확인되었다.¹⁻⁵

그러나, 난삭재에 대한 적층 다이아몬드 스톨의 적용 가능성을 연구한 내용은 미흡한 상태이며, 난삭재는 일반 강과는 상이한 물성 및 연삭 특성을 나타내므로, 공작물 및 스톨의 변화에 따른 연삭특성의 예측이 어려운 상황이다. 따라서, 본 연구에서는 대표적인 난삭재인 초경합금 공작물을

접수일: 2003 년 2 월 11 일; 게재승인일: 2003 년 7 월 11 일
교신저자: 국민대학교 기계자동차공학부
Email: kangkim@kookmin.ac.kr, Tel: (02) 910-4676

일반 다이아몬드 슷돌 및 적층 다이아몬드 슷돌로 평면연삭한 연삭면의 표면거칠기를 서로 비교 분석하여 적층 다이아몬드 슷돌에 의한 초경합금의 표면거칠기 특성을 알아보고자 한다.

2. 실험

2.1. 실험장치

본 실험에서 사용된 평면연삭기는 우진 기공사의 WSG-6050A 기종이며, 미세 이송을 위하여 디지털 스케일(해상도: 0.5 μm)을 설치하였다. 연삭열에 의한 영향을 최소화하기 위하여 수용성 W2 중 1 호 연삭액인 한국셀석유(주)의 셀루브리쿨 그린을 몰과 중량비 1:40 으로 혼합하여 충분히 공급하였다. 실험 중 실험오차를 최소화하기 위하여, 실험 전에 1 시간 동안 연삭액을 공급하고 슷돌 회전, 공작물 이송 및 가로이송의 예비 운전을 시행함으로써 연삭기 상태가 정상상태로 유지되도록 조치하였다.

본 실험에서는 편의상 적층 다이아몬드 슷돌의 양 측면을 구성하는 지립을 황삭지립, 가운데를 구성하는 지립을 정삭지립이라고 명명한다. 아울러, 적층 다이아몬드 슷돌은 LDW(laminated diamond wheel), 일반 다이아몬드 슷돌은 GDW(general diamond wheel)로 나타낸다. 지립의 크기는 슷돌 기호에 이어서 입도로 나타내는데, LDW의 경우에는 황삭지립 입도/정삭지립 입도/황삭지립 입도의 순으로 표기한다.

스�돌은 합성다이아몬드를 사용하여 신한 다이아몬드(주)에서 제작하였다. GDW의 집중도는 100으로 하였으며, LDW의 집중도는 황삭지립 부위를 75로 하고 정삭지립 부위를 100으로 하였다. 일반적으로 연삭스�돌은 양 측면의 마멸이 중앙 부위보다 빨리 진행되어 가운데가 볼록해지는 현상이 있으므로, 슷돌의 중앙부에 위치한 정삭지립에 의한 소재 제거 효과가 신속히 일어날 수 있도록 양 측면의 황삭지립들과 집중도의 차이를 두었다. 결합제는, 지립의 결합력이 강하고 탄성이 크기 때문에 파손에 대한 안정성이 높으며, 연삭열에 대하여 비교적 안정적인, 레진 본드를 사용하였다.^{6,7} Fig. 1은 사용된 슷돌의 주요 치수를 보여준다.

또한, 공작물의 표면거칠기는 슷돌의 드레싱 주기와 깊은 관련이 있으므로, 슷돌의 표면을 동일한 상태로 만들기 위하여, 실험 전에는 항상 일

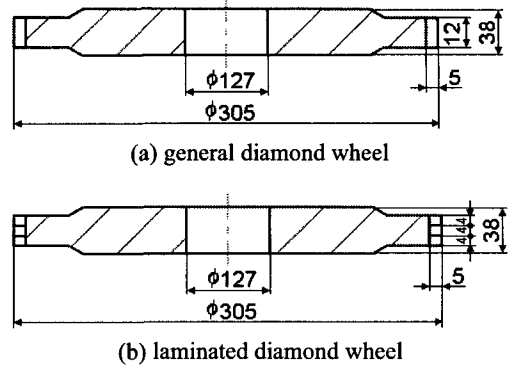


Fig. 1 Dimension of diamond wheels (No scale)

정한 조건 하에서 드레싱을 실시하였다. 드레서는 가로, 세로, 높이가 각각 170mm, 70mm, 50mm 인 황동 블록 형태로 제작하였으며, 드레서의 이송속도와 가로이송량을 각각 5m/min, 1mm/pass로 고정한 상태에서 3 단계로 드레싱 깊이를 변화시키며 수행하였다. 드레싱의 제 1 단계에서는 드레서를 1회 왕복할 때마다 드레싱 깊이를 20 μm 씩 증가시키며 4회, 2 단계에서는 매 왕복 당 1 μm 씩 증가시키며 4회, 마지막 3 단계에서는 드레싱 깊이를 증가시키지 않은 상태에서 4회 왕복함으로써 완료되었다. Fig. 2는 드레싱된 슷돌표면의 확대된 그림을 나타내고 있다.

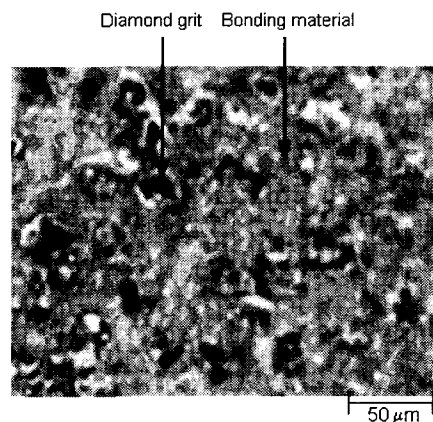


Fig. 2 Diamond wheel surface after dressing (GDW 140)

본 실험의 시편은 프레스금형에 사용되는 내마모성 충격공구 소재인 초경합금(WC-Co 계, V3)을 사용하였으며, 시편의 크기는 가로 30mm, 세로

30mm, 높이 10mm로 하였다. Table 1 에서는 시편의 화학적 조성 및 기계적 성질을 나타내었다. 시편에 열변형에 의한 비틀림 현상이 발생하는 것을 보완하고 높이 및 표면상태를 동일하게 유지하기 위하여, 실험 전에 모든 시편들의 상·하면을 GDW 80 으로 예비 가공하였다.

Table 1 Chemical composition and mechanical properties of the cemented carbide (V3)

Chemical composition			
material	Tungsten (W)	Cobalt (Co)	Carbon (C)
%	78-87	8-16	5-6
Mechanical properties			
hardness	89.0 H _{RA}		
density	14 ~ 16 g/cm ³		
thermal expansion	6×10 ⁻⁶ /°C		
transverse rupture strength	210 kg/mm ²		
compressive strength	410 kg/mm ²		
Young's modulus	54×10 ³ kg/mm ²		
thermal conductivity	0.18 cal/cm °Csec		

실험결과의 신뢰도를 높이기 위하여 각 조건마다 10 개의 시편을 가공한 후, 중심선 평균거칠기(R_a)를 측정하였다. 측정은 Rank-Taylor Hobson사의 Form Talysurf Series 2 를 사용하였다. 측정 구간으로는 가공면의 가장자리에서 10mm 씩을 제외한 가운데의 가로, 세로 각각 10mm 영역 내에서 3 곳을 선정하였으며, 측정 방향은 시편의 왕복이송방향과 수직이 되도록 실시하였다.

2.2 실험 조건

Table 2 는 본 연구에서 수행된 세 가지 실험의 상세한 조건을 보여 준다. 실험 1 에서는 공작물의 재질 차이가 공작물의 표면거칠기에 미치는 영향에 대한 실험을 수행하였다. 초경합금과 고주파 열처리된 강(SM45C, H_{RC}: 59)을 대상으로 하여 일반 다이아몬드 스톨로 실험하였다.

실험 2 에서는 초경합금 연삭 시 적층 다이아몬드 스톨의 특성을 일반 다이아몬드 스톨과의 비

교를 통하여 알아보았다. 공작물의 이송속도(Table speed) 및 1 회 가로이송량(Cross feed rate)을 가공변수로 하여 실험하였다. 실험을 위하여 일반 다이아몬드 스톨은 보편적으로 산업 현장에서 황삭 작업 및 정삭작업에 많이 사용되는 GDW 140 과 GDW 270 을 각각 사용하였으며, 적층 다이아몬드 스톨은 선정된 일반 다이아몬드 스톨의 지립들을 이용한 LDW 140/270/140 을 사용하였다. 아울러, 일반 연삭스톨에 대한 선행 연구결과를 참고하여, 적층 다이아몬드 스톨의 황삭지립과 정삭지립의 중간정도 지립을 가지는 GDW 200 을 사용한 실험도 수행하였다.

Table 2 Experimental conditions

Fixed conditions				
grinding wheel speed		1500 rpm		
depth of cut		0.008 mm × 2 times		
spark out		4 times		
wet / dry		wet		
Variable conditions				
		Exp. 1	Exp. 2	Exp. 3
table speed (m/min)		15	5, 10, 15	5, 10, 15
cross feed rate (mm/pass)		1, 2, 3	1, 2, 3	3
Grinding wheel	GDW 140	●	●	
	GDW 200		●	
	GDW 270		●	
	LDW 80/270/80			●
	LDW 140/270/140		●	●
	LDW 200/270/200			●
Work-piece	cemented carbide	●	●	●
	SM45C	●		

* Specification of diamond wheels (Standard making)

GDW 140 : SDC140N100BG5.0W

GDW 200 : SDC200N100BG5.0W

GDW 270 : SDC270N100BG5.0W

LDW 80/270/80 : (Side layers) SDC80N75BG5.0W

(Middle layer) SDC270N100BG5.0W

LDW 140/270/140 : (Side layers) SDC140N75BG5.0W

(Middle layer) SDC270N100BG5.0W

LDW 200/270/200 : (Side layers) SDC200N75BG5.0W

(Middle layer) SDC270N100BG5.0W

실험 3 의 목적은 적층 다이아몬드 슷들의 황삭지립과 정삭지립 사이의 입도 크기 차이가 공작물의 표면거칠기에 미치는 영향을 알아보기 위한 것이다. 이 실험에서는 서로 다른 적층 다이아몬드 슷들 3 종(LDW 80/270/80, 140/270/140, 200/270/200)이 사용되었다.

3. 결과 및 고찰

3.1 실험 1

Fig. 3 은 다이아몬드 슷들로 가공된 공작물의 표면거칠기가 1 회 가로이송량이 증가함에 따라, 일반 강의 경우 초경합금보다 상대적으로 급격하게 거칠어지는 것을 보여 준다. 이와 같은 결과는 일반 강의 경도가 상대적으로 초경합금보다 연하기 때문에 발생하는 것으로 추정된다.

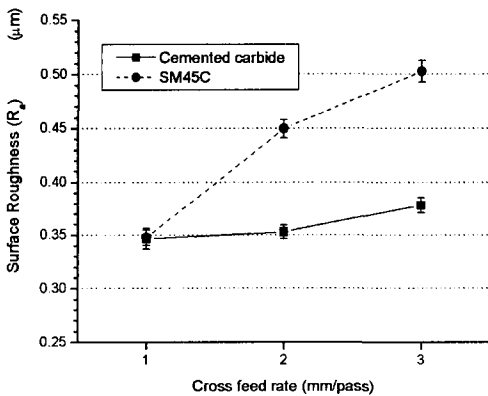
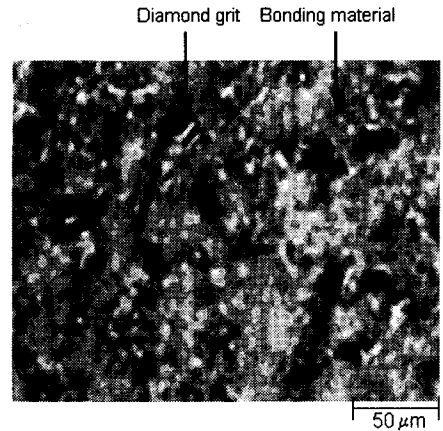


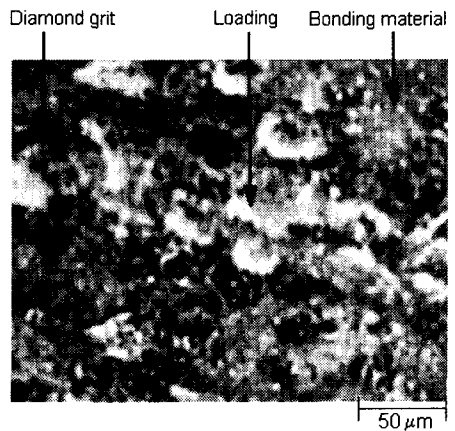
Fig. 3 Surface roughness (cemented carbide, SM45C)

다이아몬드 슷들의 결합제로 사용된 레진 본드는 지립의 탈락이 적으므로 서서히 지립의 마멸이 진행되면서 지립의 끝이 평평해지다가, 슷들의 눈메움(loading) 현상이 발생된다.⁸ 관찰결과에 의하면, Fig. 4 a) 에서 보여주는 초경합금을 연삭한 후의 슷들면은 드레싱 직후의 다이아몬드 슷들 표면과 큰 차이가 없었으며 눈메움 현상이 발생하지 않았음을 알 수 있었다. 그러나, 다이아몬드 슷들을 이용하여 SM45C 를 연삭한 후 관찰한 Fig. 4 b) 에서는 눈메움 현상이 잘 나타나 있다. 아울러, 선행연구결과³와 정성적으로 비교하여 볼 때, GDW 를 이용하여 가공된 SM45C 의 공작물 표면거칠기는 알루미늄산화물 지립을 가진 연삭스틀로 가공

된 SM45C 보다 거칠게 나타났다. 따라서, 표면거칠기 측면에서 볼 때, 다이아몬드 슷들은 초경합금의 연삭에는 효과적이거나, SM45C 와 같은 재료의 연삭용으로는 바람직하지 않다고 판단된다.



(a) after grinding cemented carbide

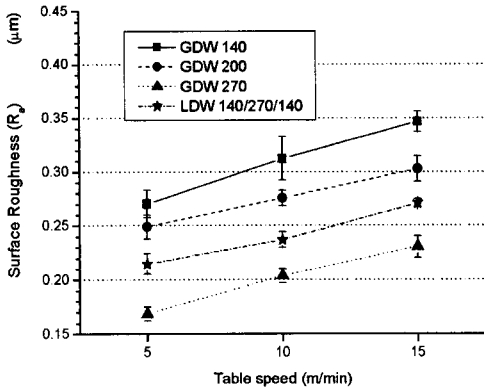


(b) after grinding SM45C

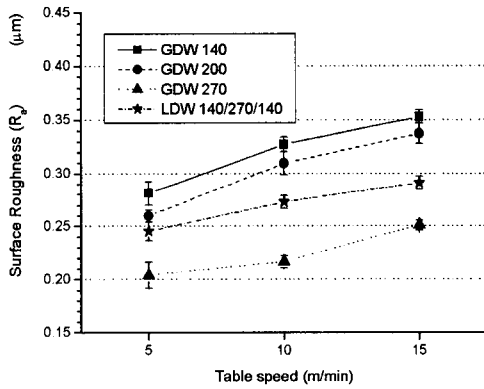
Fig. 4 Diamond wheel surface (GDW 140, cross feed : 3mm/pass, table speed : 15m/min)

3.2 실험 2

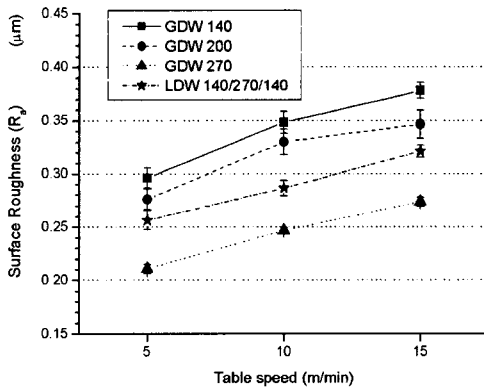
적층 다이아몬드 슷들과 일반 다이아몬드 슷들로 가공된 초경합금의 표면거칠기 특성에 대하여 연삭조건(공작물의 이송속도 및 1 회 가로이송량)을 변화시키며 비교한 결과는 Fig. 5 에 나타나 있다.



(a) cross feed : 1mm/pass



(b) cross feed : 2mm/pass



(c) cross feed : 3mm/pass

Fig. 5 Relationship between surface roughness and table speed

Fig. 5 a)에서 보는 바와 같이 공작물의 1 회 가로 이송량이 1mm/pass, 공작물의 이송속도가 10m/min 인 경우, 슛들의 입도가 140, 200, 270 으로 증가할 수록 공작물의 측정된 표면거칠기의 평균값은 0.31 μ m, 0.28 μ m, 0.20 μ m 로 감소되는 경향을 볼 수 있다(이하, 언급되는 모든 표면거칠기 값은 측정 결과의 평균값을 의미한다). 또한, GDW 140 일 경우, 공작물의 이송속도가 5, 10, 15m/min 으로 증가할수록 공작물의 표면거칠기는 0.27 μ m, 0.31 μ m, 0.35 μ m 로 거칠어지는 것도 확인되었다. 나머지 실험 조건에서도 슛들의 입도가 증가할수록, 공작물의 이송속도가 감소할수록 공작물의 표면거칠기는 양호해지는 동일한 경향이 나타났다. LDW 140/270/140 으로 가공된 공작물의 표면거칠기는 공작물의 가로이송이 1mm/pass, 공작물의 이송속도가 5m/min 인 경우 0.21 μ m 이다. LDW 140/270/140 의 황삭지립으로 구성된 GDW 140 으로 가공된 공작물의 표면거칠기는 0.27 μ m 이고, 정상지립으로 구성된 GDW 270 으로 가공된 공작물의 표면거칠기는 0.17 μ m 로 측정되었다. 다른 모든 실험결과에서도 LDW 140/270/140 으로 가공된 공작물의 표면거칠기는 GDW 140 으로 가공된 공작물의 표면거칠기와 GDW 270 으로 가공된 공작물의 표면거칠기의 중간 정도 거칠기 값을 갖는 것이 확인되었다.

Fig. 5 의 a), b), c)에 대한 비교를 통하여, 공작물의 이송속도가 일정할 때 공작물의 1 회 가로이송량에 대한 표면거칠기의 변화를 알 수 있다. 공작물의 이송속도가 5m/min, GDW 140 인 경우, 공작물의 1 회 가로이송량이 1, 2, 3mm/pass 로 증가할 수록 공작물의 표면거칠기는 0.27 μ m, 0.28 μ m, 0.30 μ m 로 거칠어지는 것을 확인할 수 있었으며, 나머지 실험결과에서도 공작물의 1 회 가로이송량이 증가할수록 공작물의 표면거칠기는 증가하는 특징이 나타났다.

따라서, 공작물의 이송속도, 공작물의 1 회 가로이송량이 증가할수록 공작물의 표면거칠기는 나빠지는 경향이 있음이 확인되었으며, 슛들의 입도와 공작물의 표면거칠기는 대체로 반비례 관계가 있다는 사실도 알 수 있다. 이 결과는 이미 익히 알려져 있는 내용이다. 그러므로, 이 결과를 통하여 실험의 신뢰성을 확인할 수 있다.

또한, 적층 다이아몬드 슛들로 가공된 공작물의 표면거칠기는 동일한 조건에서 적층 다이아몬

드 슷들의 황삭지립으로 구성된 일반 다이아몬드 슷들로 가공된 공작물의 표면보다 매끄럽고, 정삭지립으로 구성된 일반 다이아몬드 슷들로 가공된 공작물의 표면보다 거친 것을 확인할 수 있다. 이 결과는 적층 알루미늄산화물 연삭 슷들에 대한 선행 연구결과³ 와 일치하는 것이다.

적층 알루미늄산화물 연삭 슷들에 대한 선행 연구에 사용된 슷돌들은 실험 2 에서 사용한 슷돌들보다 입도가 작은 거친 것들로 구성되어 있으나, 표면거칠기 값들이 더 작은 것을 두 실험결과와의 비교를 통하여 알 수 있다. 그러므로, 실험 1 에서 확인 바와 같이, 가공면의 표면거칠기는 공작물 재료가 달라짐에 따라서 사용되는 연삭스틀의 지립 종류와 밀접한 관련이 있는 것으로 사료된다.

3.3 실험 3

실험 3 은 적층 다이아몬드 슷들의 입도 차이가 공작물의 표면거칠기에 미치는 영향을 알아보기 위한 실험이다. 실험으로 얻은 공작물의 표면거칠기 값을 Fig. 6 에 나타내었다.

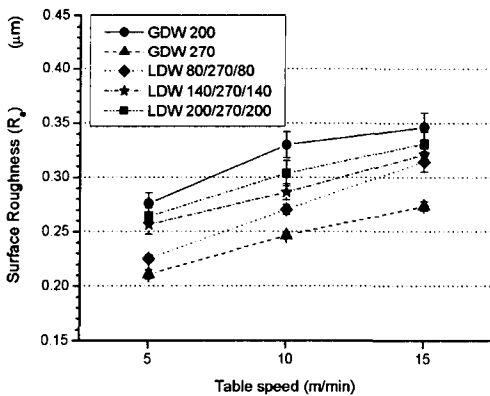


Fig. 6 Effect of grit size difference between coarse and fine grits of LDW on surface roughness (Cross feed : 3mm/pass)

일반적으로 지립의 크기가 작을수록 소재제거율은 커지고, 지립의 크기가 커질수록 소재제거율은 작아지는 특성이 있다.⁹ 따라서 적층 다이아몬드 슷들의 황삭지립 크기가 커질수록 슷돌 양 측면에 의한 소재제거량은 적어지므로 정삭지립에 의하여 제거되어야 하는 절입깊이는 커지게 되며, 반대로 황삭지립의 크기가 작을수록 이 지립에 의

한 소재제거율이 높아지므로 정삭지립의 절입깊이는 작아지게 된다. Fig. 6 을 보면 공작물의 이송속도가 5m/min, 공작물의 가로이송이 3mm/pass 인 경우, LDW 80/270/80 으로 가공된 공작물의 표면거칠기는 0.23 μ m 이고, GDW 270 으로 가공된 공작물의 표면거칠기는 0.21 μ m 이다. 아울러, 같은 연삭 조건에서 LDW 200/270/200 으로 가공된 공작물의 표면거칠기는 0.26 μ m 이고, GDW 200 으로 가공된 공작물의 표면거칠기는 0.28 μ m 이다. 따라서, 정삭지립과 황삭지립의 입도 차이가 큰 LDW 80/270/80 으로 연삭가공된 공작물의 표면거칠기는 GDW 270 으로 가공된 공작물의 표면거칠기와 비슷한 값을 나타내고 있으나, 정삭지립과 황삭지립의 입도 차이가 상대적으로 작은 LDW 200/270/200 으로 연삭가공된 경우의 공작물 표면거칠기는 GDW 200 으로 가공된 공작물의 표면거칠기에 가까운 값을 갖는 것을 보여 준다.

그러므로, 적층 다이아몬드 슷들을 이용한 연삭가공 시 공작물의 표면거칠기는 정삭지립과 황삭지립의 입도 차이가 클수록 정삭지립의 영향을 많이 받고, 지립의 입도 차이가 작을수록 황삭지립의 영향을 많이 받는 것을 알 수 있다. 따라서 LDW 80/270/80, LDW 140/270/140, LDW 200/270/200 의 순서로 공작물의 표면거칠기는 증가하는 것을 볼 수 있다. 이 결과에 의하여, 알루미늄산화물 지립으로 구성된 적층 연삭스틀에 대한 선행 연구⁴ 에서 실험을 통하여 확인된 것과 동일한 특성이 적층 다이아몬드 슷들에도 존재함을 확인할 수 있다.

4. 결론

대표적인 난삭재인 초경합금 연삭에 사용되는 다이아몬드 슷들에 적층 개념을 도입하여 개발한, 적층 다이아몬드 슷들에 의한 초경합금 공작물의 표면거칠기 특성을 알아 보았다. 본 연구를 통하여 확인된 결과는 다음과 같다.

- 1) 적층 다이아몬드 슷들로 가공한 공작물의 표면거칠기는 황삭지립으로 구성된 일반 다이아몬드 슷들로 가공한 공작물의 표면거칠기 보다는 매끈하고, 정삭지립으로 구성된 일반 다이아몬드 슷들로 가공한 공작물의 표면거칠기보다는 거칠다.
- 2) 적층 다이아몬드 슷들의 정삭지립과 황삭지

립의 입도 차이가 상대적으로 클수록 공작물의 표면거칠기는 주로 정삭지립의 영향을 받고, 지립의 입도 차이가 상대적으로 작을수록 황삭지립의 영향을 많이 받는다.

참고문헌

1. Lee, E. J., A Study on the Grinding of Hard Materials Using Laminated Grinding Wheels, Ph. D. Thesis, Kookmin Univ., pp. 115-116, 2000.
2. Kim, K. H. and Kim, K., "A Study on the Roughness and Material Removal Rate of the Workpiece Using the Laminated Grinding Wheel in the Cylindrical Grinding Process," Proc. of the KSPE Fall Conference, pp. 3-8, 1998.
3. Guak, C. H., Lee, E. J. and Kim, K., "A Study on the Application of Laminated Grinding Wheel to Surface Grinding Operation," J. of the KSPE, Vol. 17, No. 9, pp.45-52, 2000.
4. Kim, M. C., Kim, K. H., Lee, E. J. and Kim, K., "Surface Characteristics of Cylindrically Ground Workpiece Using Laminated Grinding Wheel," J. of the KSPE, Vol. 18, No. 3, pp. 35-39, 2001.
5. Kim, H. M., A Study on the Laminated Grinding Wheel Dressing, MS Thesis, Kookmin Univ., pp. 32, 2000.
6. Luo, S. Y., "Analysis of the Wear of a Resin-bonded Diamond Wheel in the Grinding of Tungsten Carbide," J. of Material Processing Technology, pp. 289-296, 1997.
7. Won, J. H., Kim, K. H., Ahn, B. J., Park, S. S. and Lee, J. O., "The Grinding Characteristics of 5 Kind Metals for CBN Wheel," J. of the KSPE, pp. 925-929, 2001.
8. Gong, J. H., Ryu, B. H., So, E. Y., Lee, K. S. and Yu, E. Y., "A Study on the Diamond Wheel Wear in Ceramic Grinding," Proc. of KSMTE, pp. 344-348, Fall 2001.
9. Lindsay, R. P., On the Metal Removal and Wheel Removal Parameters, Surface Finish, Geometry and Damage in Precision Grinding, Ph.D. Thesis, Worcester Polytechnic Institute, pp. 56, 1971.