

적층연삭수돌에 의한 원통연삭 가공물의 표면 특성

김민철*, 김광희**, 이은종***, 김강****

Surface Characteristics of Cylindrically Ground Workpiece using Laminated Grinding Wheel

Min Chul Kim*, Kwang Hee Kim**, Eun Jong Lee***, and Kang Kim ****

ABSTRACT

The precision grinding process is carried out with fine-cutting operation after coarse-cutting operation. So, the laminated grinding wheel has been developed to reduce the ineffectiveness induced by changing the operations. In this study, to investigate the possibility of the practical use of the laminated grinding wheel, the surface residual stress of the workpiece ground by the laminated grinding wheels was compared with that ground by the general grinding wheel, and the influence of the difference in grain sizes, between the coarse grit and fine grit of the laminated grinding wheel, on the surface roughness of the workpiece was investigated.

Key Words : Cylindrical grinding(원통 연삭), Laminated grinding wheel(적층연삭수돌), Surface roughness(표면 거칠기), Surface residual stress(표면 잔류응력)

1. 서론

일반적으로 고정도의 가공에 쓰이고 있는 연삭공정은 대부분 부품 생산의 마지막 공정을 차지하고 있다. 현재의 연삭공정에서는 황삭수돌로 황삭을 한 후, 정삭수돌을 사용하여 마지막으로 정삭작업을 하고 있다. 이러한 공정은 두 대의 연삭기를 사용하거나 두 개의 수돌을 교체하여 작업을 해야 한다. 이 경우, 공작물의 이동 시간이나 수돌 교체 시간 등의 비효율적인 시간이 존재한다. 그러므로, 이에 따른 생산비용과 작업비용도 상승하게 된다. 이런 황삭과 정삭작업 중에 발생하는 비효율적인 시간을 감소시키기 위하여 적층연삭수돌(Laminated grinding wheel)이 고안되었다. 적층연삭수돌의 양측면은 황삭지립, 가운데는 정삭지립으

로 적층되어 황삭과 정삭작업을 수돌 교체 없이 수행할 수 있도록 고안되었다. 적층연삭수돌의 특성에 대한 선행연구⁽¹⁾에서 적층연삭수돌의 표면 거칠기에 대한 특성이 밝혀졌으나, 적층연삭수돌이 실용화되기 위해서는, 연삭 후에 공작물의 품질에 영향을 미치는, 표면거칠기 이외의 연삭특성에 대한 연구와 적층연삭수돌의 최적 설계에 대한 연구가 요청된다.

2. 실험

2.1 실험방법

실험에 사용된 연삭 수돌은 Fig.1에 나타내었다. 수돌의 폭의 38mm이고, 정삭 지립과 황삭 지립의 폭은 1:1로 제작되었다. 표기 방법은 일반

* 주식회사 에스엔이 개발부
** 국민대학교 대학원 기계설계학과
*** 천안공업대학 금형과
**** 국민대학교 기계자동차공학부

연삭수들은 GW로 나타내고, 이어서 입도를 표기 한다. 적층연삭수들은 LW로 나타내고 이어서 황삭입도/정삭입도를 표기한다.

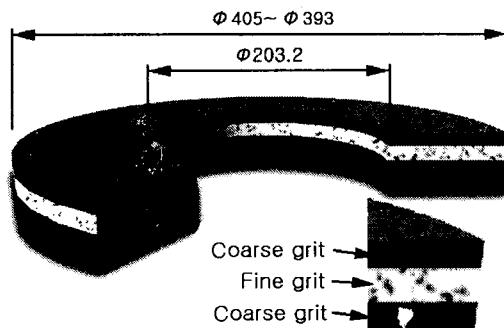


Fig. 1 Dimension of laminated grinding wheel

참고문헌⁽¹⁾에 의하면 GW36, GW120, LW36/120 세 가지 연삭 수들을 사용하여 일반연삭수들과 적층연삭수들의 표면 거칠기 특성에 대한 연구가 이루어 졌으며, 그 결과는 LW 36/120으로 가공된 공작물의 표면 거칠기는 GW 36으로 가공된 공작물의 표면 거칠기와 GW 120으로 가공된 공작물의 표면 거칠기 사이에 존재하고, 그 표면 거칠기 값이 GW 80으로 가공된 공작물의 표면거칠기 값과 근사치에 있다는 것이 확인되었다. 본 연구에서 표면잔류응력 실험은 적층연삭수들과 적층연삭수들을 구성하는 황삭지립 및 정삭지립과 각각 동일한 지립으로 제작된 일반연삭수들을 사용하여 가공된 공작물의 표면잔류응력을 측정하여 비교하고자 한다. 또한, 선행연구⁽¹⁾에서 일반연삭수들로 가공한 공작물의 표면거칠기와 비슷한 표면거칠기를 생성하는 것으로 확인된, 적층연삭수들로 가공한 공작물의 표면잔류응력과 일반연삭수들로 가공한 공작물의 표면잔류응력을 비교하여 적층연삭수들의 활용 가능성을 알아본다. Table 1은 연삭 조건을 나타내고 있다.

표면거칠기 실험에서는 적층연삭수들의 양측면을 구성하는 황삭지립과 가운데면을 구성하는 정삭지립의 입도 차이를 변화시킨 세 개의 적층연삭수들을 사용하여 가공된 공작물의 중심선평균거칠기에 대하여 알아 보고, 두 지립의 입도 차이가 공작물의 표면거칠기에 미치는 영향에 대해서도 알아보자 한다. 일반적으로 일반연삭수들로 황삭 시

Table 1 Residual stress experiment condition

Fixed Condition	Value
Grinding wheel speed	1740 rpm.
Work surface speed	18.99 m/min
Spark out times	1
Dwell time	2 seconds
Variable condition	Value
Traverse speed	0.88 m/min
Depth of cut	0.01, 0.02, 0.03 mm
Wheel type	GW 46 GW 80 LW 46/80 LW 36/120

Table 2 Surface roughness experiment condition

Fixed Condition	Value
Grinding wheel speed	1740 rpm.
Work Surface speed	18.99 m/min
Spark out times	3
Dwell time	2 seconds
Variable Condition	Value
Traverse speed	0.88, 1.58, 1.98 m/min
Depth of cut	0.0125 mm × 8 0.025 mm × 4 0.05 mm × 2
Grinding wheel	LW 46/80 LW 36/120 LW 24/150

공작물 이송속도는 공작물 1회전당 수돌 폭의 2/3 ~ 3/4정도로 하지만,⁽²⁾ 적층연삭수들은 수돌폭비가 약 1:1:1로 되어 있으므로 공작물 1회전당 이송속도를 수돌폭의 1/3 이내가 되도록 설정하였다. Table 2는 연삭 조건을 나타내고 있다.

표면잔류응력의 측정은 PROTO사의 PROTO XRD Residual Stress Analyzer를 사용하였으며, 동일 조건으로 가공된 3개의 시편 중앙 부분을 측정하여 평균값을 구하였다. 표면거칠기의 측정은 Rank-Tayler Hobson사의 Form Talysurf Series 2를 사용하였으며, 동일 조건으로 가공된 3개의 시편

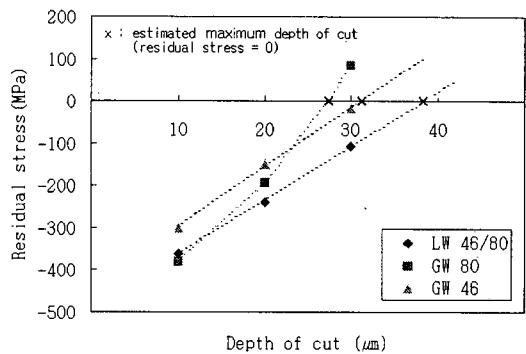
에서 각각 6지점을 측정하여 평균값을 구하였다.

3. 실험 결과

3.1 표면 잔류 응력

Fig. 2는 일반연삭수들과 적층연삭수들로 가공된 공작물의 절입깊이에 따른 표면잔류응력의 변화를 그래프로 나타내고 있다. 그래프에서 볼 수 있듯이, 일반연삭수들과 적층연삭수들로 가공한공작물의 표면잔류응력은 절입깊이가 증가할수록 압축잔류응력에서 인장잔류응력으로 변하는 것을 알 수 있다. 절입깊이가 $10\mu\text{m}$ 에서 $20\mu\text{m}$ 까지, $20\mu\text{m}$ 에서 $30\mu\text{m}$ 까지 $10\mu\text{m}$ 씩 증가할수록 GW 80으로 가공된 공작물의 표면잔류응력은 각각 187.6MPa , 276.5MPa 씩 압축잔류응력에서 인장잔류응력 방향으로 급격하게 변하지만, LW 46/80으로 가공된 공작물의 표면잔류응력은 각각 122.3MPa , 131.6MPa 씩 변하여 GW 80으로 가공된 공작물의 표면잔류응력보다 상대적으로 완만하게 변하고 있다. 또한, Fig. 2 b)에서 볼 수 있듯이, LW 36/120으로 가공된 공작물의 표면잔류응력에서도 절입깊이가 증가할수록 압축잔류응력에서 인장잔류응력 방향으로 변하는 것을 알 수 있다. 참고문헌⁽¹⁾에 의하면, GW 80은 LW 36/120으로 가공된 공작물의 표면거칠기와 비슷한 표면거칠기를 생성할 것으로 추정된다. 따라서, 이 두 종류의 수들로 가공된 공작물의 표면잔류응력 변화를 살펴보면, LW 36/120이 GW 80보다 상대적으로 완만한 변화 특성을 보여 줌을 알 수 있다. 일반적으로 연삭에서 인장잔류응력은 주로 열에 의해서 발생되므로, GW 80은 절입깊이가 증가할수록 LW 36/120보다 열에 의한 영향을 공작물에 더 많이 준다는 것을 알 수 있다. 이와는 반대로 LW 36/120의 경우 황삭지립이 1차적으로 절입깊이의 대부분을 연삭하고 그 다음 정삭지립이 나머지 부분을 다시 연삭하는 작용을 하기 때문에 GW 80과 같이 열에 의한 영향을 공작물에 크게 주지 않는 것으로 판단된다. 위의 실험결과를 바탕으로 curve fitting 방법을 사용하여 압축잔류응력에서 인장잔류응력으로 바뀌는 절입깊이를 추정한 결과, GW 46과 GW 80으로 가공한 공작물의 경우는 절입깊이가 각각 약 $31\mu\text{m}$, $27\mu\text{m}$ 지점에서, 그리고 LW 46/80과 LW

a) LW 46/80, GW 46, GW 80



b) LW 36/120, GW 80

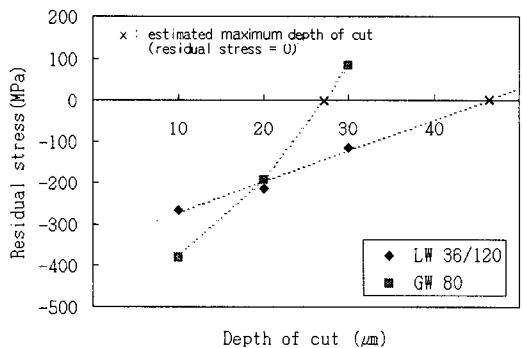


Fig. 2 Relationship between residual stress and depth of cut

36/120으로 가공된 공작물의 경우는 절입깊이가 각각 약 $38\mu\text{m}$, $46\mu\text{m}$ 지점에서 잔류응력의 방향이 바뀌는 것을 예측할 수 있다. 그러므로, 표면잔류응력 측면에서 적층연삭수들은 적층연삭수들의 황삭지립, 정삭지립과 동일지립으로 제작된 일반연삭수들에 비해 약 23~40% 정도 절입깊이를 더 줄 수 있다고 추론할 수 있다. 아울러, LW 36/120과 GW 80의 경우에 있어서도 동일한 절입깊이를 주었을 때 비슷한 공작물의 표면거칠기를 생성하지만, 잔류응력측면에서 볼 때 LW 36/120는 GW80보다 절입깊이를 70% 정도 더 크게 줄 수 있다는 것도 실험결과 예측할 수 있다.

3.2 표면 거칠기

Fig. 3은 각 절입깊이에서 공작물 이송속도에 따

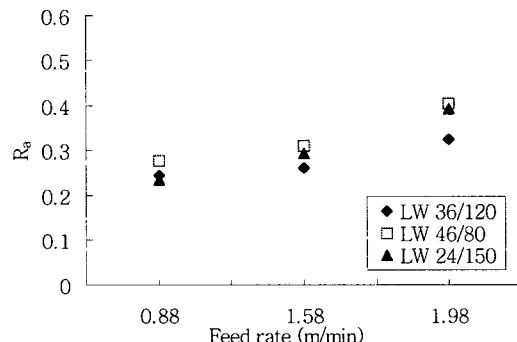
른 중심선평균거칠기를 보여 주고 있다. 그레프에서 볼 수 있듯이, 황삭지립과 정삭지립을 변화시켜 제작한 적층연삭숫돌로 가공된 공작물은 모두 공작물 이송속도와 절입깊이가 증가할수록 중심선평균거칠기가 높아지는 것을 볼 수 있다.

Fig. 4는 각 절입깊이에서 적층연삭숫돌을 구성하는 두 지립의 입도 차이에 따른 중심선평균거칠기를 보여 주고 있다. 그레프에서 볼 수 있듯이, 적층연삭숫돌을 구성하는 황삭지립과 정삭지립의 입도 차이가 커질수록 전체적으로 표면거칠기는 감소하다가 증가하는 경향을 볼 수 있다. 이 결과를 통하여, 적층연삭숫돌을 구성하는 황삭지립과 정삭지립의 조합을 최적화 할 수 있는 입도 차이가 존재한다는 것을 추정할 수 있다. 적층연삭숫돌의 연삭과정을 보면 연삭시 황삭지립이 1차적으로 연삭을 하고 이어서, 정삭지립이 남은 양을 연삭한다. 이때, 각 지립과 소재제거율은 다음과 같은 관계를 갖는다. 각 지립의 크기가 작을수록 소재제거율은 커지게 되고, 지립의 크기가 클수록 소재제거율은 작아지는 특성이 있다.⁽³⁾ 그러므로, 적층연삭숫돌의 황삭지립의 입도가 작을수록 소재제거율이 낮아지므로 정삭지립의 절입깊이는 커지게 되고, 황삭지립의 입도가 클수록 소재제거율이 높아지므로 정삭지립의 절입깊이는 작아지게 된다. 세 개의 적층연삭숫돌 중 공작물의 표면거칠기가 가장 낮게 나타나는 LW 36/120과 LW 46/80, LW 24/150을 비교해 보면 다음과 같은 사실을 추론해 볼 수 있다.

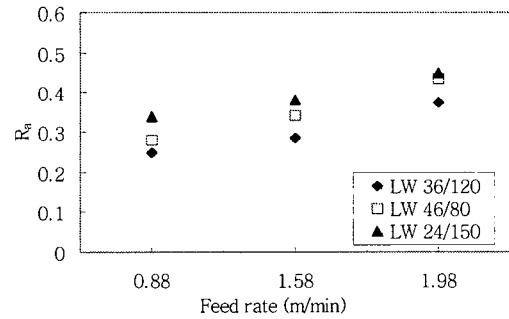
LW 36/120보다 황삭지립과 정삭지립의 입도 차이가 큰 LW 24/150의 경우, 절입깊이가 12.5 μm , 공작물 이송속도가 0.88m/min일 때에는 LW 36/120으로 가공된 공작물의 표면거칠기보다 우수한 특성을 보인다. 그러나, 공작물 이송속도가 증가하고, 절입깊이가 깊어지면 정삭지립에 의하여 연삭되는 절입깊이가 과도하여 공작물 표면에 타는 현상이 발생한다. 그 결과 LW 36/120로 가공된 공작물에 비하여 표면거칠기는 나빠지게 된다. 이 결과를 통해서, 두 지립의 입도 차이가 커지게 되면 공작물의 표면거칠기는 정삭지립의 영향을 주로 받는다고 추론할 수 있다. 반면에, LW 36/120보다 황삭지립과 정삭지립의 입자 간격이 좁은 LW 46/80의 경우, 황삭지립에서 절입깊이의 대부분을 연삭하게 되고 정삭지립의 절입깊이가 작아지면서 공작물 표면에 타는 현상을 발생하지 않으

나 표면거칠기는 상대적으로 향상되지 않는 것으로 판단된다. 이 결과에서 두 지립의 입도 차이가 작아지면 공작물의 표면거칠기는 황삭지립의 영향을 주로 받는 것으로 추정 할 수 있다.

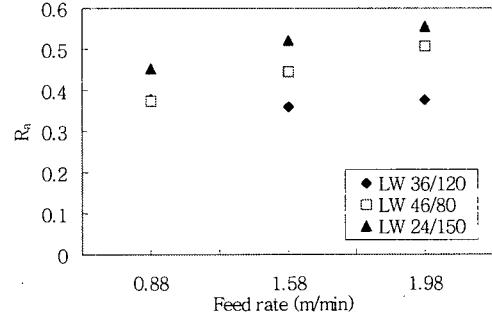
a) Depth of cut = 0.0125mm

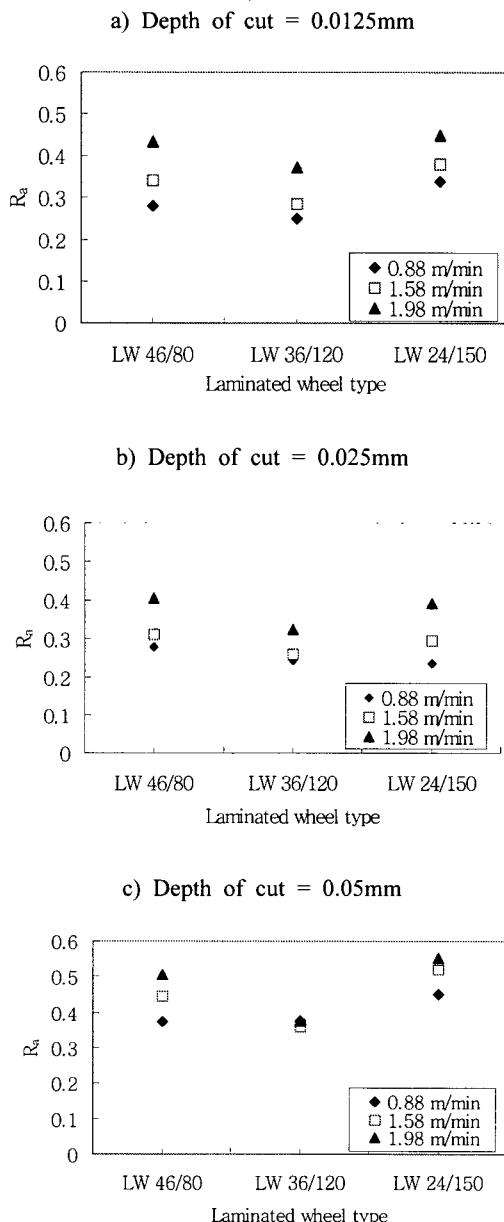


b) Depth of cut = 0.025mm



c) Depth of cut = 0.05mm

Fig. 3 Relationship between R_a and feed rate

Fig. 4 Relationship between R_a and laminated wheel

4. 결론

원통연삭 시 적층연삭수들을 활용가능성을 알아보기 위하여 적층연삭수들과 황삭연삭수들(적층연삭수들의 양측면을 구성하는 황삭지립과 동일한 지

립으로 제작된 일반연삭수들), 정삭연삭수들(적층연삭수들의 가운데 면을 구성하는 정삭지립과 동일한 지립으로 제작된 일반연삭수들)로 가공한 공작물의 표면잔류응력을 비교하였다. 그리고, 적층연삭수들의 최적설계를 위한 기초 연구로써, 적층연삭수들을 구성하는 양측면의 황삭지립과 가운데 면을 구성하는 정삭지립의 입도를 변화시켜 두 지립의 입도 차이가 공작물 이송속도와 절입깊이에 따라 공작물의 표면거칠기에 미치는 영향에 대해 알아 보았다. 연구 결과 다음과 같은 내용을 확인하였다.

1. 적층연삭수들로 가공된 공작물의 표면잔류응력은 황삭연삭수들과 정삭연삭수들로 가공한 공작물의 표면보다 더 깊은 절입깊이에서 인장잔류응력이 나타난다. 그러므로 적층연삭수들은 일반연삭수들에 비하여, 표면잔류응력 측면에서 볼 때, 절입깊이를 약 23~70% 정도 크게 할 수 있다.
2. 적층연삭수들을 구성하는 황삭지립과 정삭지립의 입도 차이가 증가할수록 공작물의 표면거칠기는 감소하다가 증가하는 경향이 나타난다. 따라서, 표면거칠기 측면에서 볼 때, 최적으로 지립의 입도를 조합하여 적층연삭수들을 설계 할 수 있음을 알 수 있다.
3. 적층연삭수들을 구성하는 황삭지립과 정삭지립의 입도 차이가 상대적으로 커지면 공작물의 표면거칠기는 정삭지립의 영향을 주로 받고, 상대적으로 입도 차이가 작아지면 황삭수들의 영향을 주로 받는다.

참고문헌

1. 김광희, 적층연삭수들의 가공특성에 관한 연구, 석사학위 논문, 국민대학교, pp. 28, 1997.
2. 김동원, 기계공작법, 청문각, pp. 522, 1995.
3. R. P. Lindsay, On the metal removal and wheel removal parameters, surface finish, geometry and damage in precision grinding, worcester polytechnic institute, pp. 56, 1971.