論文 한국공작기계학회지 제 8 권 제 4 호 1999. 8.
Journal of the Korean Society of Machine Tool Engineers

알루미늄 원형단면의 원심 배럴 가공에 관한 연구

김우강*. 고준빈**. 김홍배***.원종호****

A Study on the Centrifugal Barrel Finishing of roundaluminium face

Woo-Kang Kim,* Joon-Bin Ko**, Hong-Bae kim***, Jong-Ho Won****

Abstract

Currently, the technology of surface finishing is highly demanded in a wide range of industries. And many kinds of surface finishing technologies have been developed for each purpose. But it is still difficult to make a fine surface for the part which has three dimensional geometry. Now most of these kinds of complex parts are polished by hand by well skilled workers. This hand work process is inefficient and the production cost is high. Therefore, it is desirable to develop a new finishing technology to solve such problem. In this study a new device was developed and tested in various test conditions.

KeyWords : Centrifugal barrel finishing(원심배럴가공), Media(미디어), Surface roughness(표면거칠기), Work speed (공작물 속도), Work setting angle(공작물 설치 각도), Material removal (가공량)

1. 서 론

오늘의 문명사회에서 자동차는 현대인의 필수품으로서 매우 중요한 위치를 차지하고 있다. 운송수단으로 사용되는 것은 물론이고, 사용자 개개인의 취향과 기호에 따라 다양하고 특색 있는 디자인이 요구되어지고 있다. 승용차에 있어서는 휠의 소재도 강판 프레스제품에서 다양한 형상으로의 제작이 가능한 알루미늄소재로 바뀌어 가고 있다.

최근에는 알루미늄휠의 고급화 추세에 따라 표면에 니켈도금을 한 휠이 등장하게 되었다. 이 니켈도금 휠은 표면이 매우 미려할 뿐만 아니라 긁힘에 대한 저항이 탁월하다.[1,2] 이러한 휠은 1차적으로 주조작업에 의하여 생산되며, 도금을 위한 2차의 연마다듬질이 필요하다.

그러나, 이 휠은 표면 형상이 복잡하여 현재로서는 수작업에 의한 연마작업을 할 수밖에 없는 실정이다.[3,4,5] 이러한 알루미늄휠을 수작업에 의존하면 제품의 품질도 떨어질 뿐만 아니라 인건비에 대한 부담도 크게 되므로, 자동화된 작업이 필요하다. 여기에 적합한 가공으로 배럴 가공을 선택할 수 있겠으나, 3차원 형상의 단면만을 가공하는 적합한 가공기가 개발되어 있지 않다.

본 연구에서는 이러한 작업조건을 만족하기 위하여 미디어의 원심력을 이용한 새로운 배럴 가공법을 고안하였다. 미디어를 배럴에 넣어서 회전시키고, 여기에 자동차

* 충남대학교 대학원 기계공학과
** 대전산업대학교 기계설계공학과
*** 전남도립담양대학 기계과
**** 충남대학교 기계공학과

휠 회전축을 기울여 회전방향에 대향하여 설치하고 휠도 자체회전을 하도록 하였다.

그 결과 자동차 휠의 전면부분을 균일하고 매끈하게 가공할 수가 있었다. 그러나, 이 가공방법은 자동차휠과 연마석을 담은 통을 회전시켰을 때의 원심력에 의해서 휠 외곽 부분보다 안쪽 부분이 연마가 잘 되지 않았다.

본 연구에서는 이러한 문제점을 해결하기 위하여 실험목적을 휠 전체 면의 균일한 가공에 두고, 이를 위하여 첫째 공작물로는 알루미늄과 같은 재질을 선택하고 실험의 편이성을 위하여 소규모의 치수로 가공하였다. 둘째, 가공시간에 따른 표면거칠기의 변화를 조사하였다. 셋째, 공작물 속도를 변화시켜 가공표면거칠기를 비교하였고, 넷째, 연마재의 혼합비율에 따른 영향을 조사하고, 다섯째, 공작물의 설치각의 영향을 조사하였다.

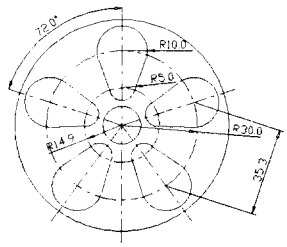

Fig. 1 Dimensions of specimen

Table 1 Chemical compositions of experimental Aluminum(wt. %)

	Mg	Al	Si	Ti	Cr
AL2024	1.313	94.125	0.098	0.035	0.006
	Mn	Fe	Cu	Zn	Total
	0.550	0.020	3.780	0.073	100.00

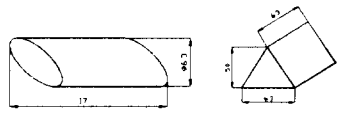

Fig. 2 Type of media

2. 실험장치 및 실험방법

2.1 시험편과 연마석

본 실험에 사용된 시험편은 Fig.1과 같은 자동차용 휠로 알루미늄 합금(AL2024)이며, 그 화학적 성분은 Table 1과 같다.(6) 시험편의 크기는 지름 85mm, 높이 20mm이며, 뒷면 중앙에는 8mm의 고정용 구멍을 중심으로 다섯 개의 구멍을 CNC로 가공하였다. 이것은 자동차 휠과 유사한 형상을 갖도록 하기 위해서 나타내었다. 또한, 실제 자동차 휠을 사용하였으며, 크기는 지름 415mm, 높이 187mm이다.

실험에 사용된 미디어는 비트리파이드 연삭입자로 만들어진 것으로서 원통형(CKM)과 삼각기둥형(TM)을 선택하였으며, 미디어 크기와 형상은 Fig.2와 같다. 이 미디어들은 연마시간이 비교적 빠르고, 배럴 가공에서는 거친 주물품에서 초정밀 가공품까지 산업분야의 전반에 걸쳐서 폭 넓게 표면 다듬질기술에 적용되고 있다.

2.2 실험장치의 구성

본 실험에 사용된 연마장치는 Fig.3에서 보는 것과 같이 직접 제작하였다. 공작물과 배럴은 각각 독립적으로 모터가 설치되었다. 공작물 각도는 Fig.3에서 측면도 40~80°, 평면도 13°의 각을 주었고, 공작물의 착탈을 용이하기 위해서 모터가 설치되었다. 공작물은 축에 착탈식으로 하였으며, 가공방식은 공작물과 배럴의 상대운동 방식이다.[1]

모형(sample)의 실험장치는 배럴 지름 500mm, 높이 230mm이며, 원통형 전동기로써 효성 3상 유도 전동기(신명전기, 출력:0.5HP, 회전수 : 1710rpm)를 사용하였으며, 전동기에 커플링으로 감속기(Ratio10:1) 를 설치하였다. 공작물 전동기로써 휴대용 전기드릴(LG 산전, 출력 : 310W, 회전수 : 1100rpm)을 사용하였다.

원형(Prototype)의 실험장치는 배럴 지름 1800mm, 높이 800mm이며, 원통형 전동기로써 3상 유도전동기(효성중공업, 출력:3.7Kw, 회전수:1730rpm; Ratio 10:1)와 감속기(Ratio 10:1)를 커플링으로 연결하였고, 공작물 전동기로써 3상유도전동기 (현대, 출력 : 0.75Kw, 회전수:1710rpm; Ratio 10:1)를 설치하였다. 속도를 조

절하기 위하여 인버터(LG산전, SV-IG, 200V) 2개를 사용하였다. 가공량은 전자저울(Electronic Top Balance : range : 0.02g-1900g)을 사용하여 측정하였다. 표면거칠기는 표면조도기(Mitutoyo Surftst - 211, 정격 전압 : AC100 /220V, 주파수 : 60Hz)에 의해서 측정하였다.

2.3 실험방법

본 실험은 배럴에 미디어와 물을 넣고서 배럴가공기 축에 긁힘(2.0㎛정도)을 내놓은 공작물을 장착시키고 선정된 각도로 고정 시킨다. 이 때에 미디어의 표면에서 공작물의 높이는 일정하게 유지하였고, 공작물과 배럴의 상대운동에 의해서 가공을 하였다. 회전은 공작물을 배럴에 집어넣고 회전한 후에 배럴을 회전시켰으며, 배럴 속도는 고정하고 공작물 속도만을 변화시켰다. 그리고 일정시간(10min)이 지난 후에 반대로 회전을 멈추었다. 실험조건은 Table 2 와 같으며, 공작물 속도와 각도, 연마재 혼합비율에 따른 표면거칠기, 가공량, 위치별 오차를 조사하였다.

Table 2 Experimental conditions

	sample	prototype
Work (mm)	Al(ϕ85 h=26)	Al(ϕ410 h=187)
Work speed (m/sec)	0.5, 1.0, 1.5, 2.0, 2.5	1.3, 1.8, 2.3, 2.8, 3.3
Barreling speed (m/sec)	1.25	2.37
Barreling time (min)	10	10
Work setting angle (°)	40°, 50°, 60°, 70°, 80°/13°	60° / 13°
Media type	TM, CKM	CKM : TM = 25 : 75

측정은 모형(sample)에서 공작물 내측, 중간, 외측 세 부분으로 하였고, 원형(prototype)은 외측, 중간, 내측, 외측측면(side-A), 중간측면(side-B) 다섯 부분으로 나누어서 측정한 표면거칠기를 평균하여 분석하였다. 본 실험에서 표면거칠기 값은 중심선 평균표면거칠기(㎛Ra)로 사용하였다.[10]

가공량은 긁힘을 내놓은 후에 측정하고, 가공 후에 물기를 제거한 후 측정하였다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1 가공시간과 표면거칠기와의 관계

Fig.4는 가공 시간에 따른 공작물전면의 각위치(내측, 중간, 외측)에 대한 표면거칠기 변화 상태를 나타낸 것이다.

가공시간이 증가함에 따라 표면거칠기가 양호해지는 경향을 볼 수 있다. 가공전 표면거칠기의 값이 약 2㎛인데 비하여 3분 가공한 후의 표면거칠기는 약 1.4㎛로 현저하게 감소하는 것을 볼 수 있으며, 가공시간이 증가할수록 즉, 3분, 6분, 9분, 12분, 15분, 18분 일 때 각각 41.2 %, 25.9 %, 10.6 %, 10.1 %, 3.5 %, 1.6 %, 로 그 감소 비율은 점차로 낮아지는 것을 볼 수 있다. 가공시간이 15분 이상일 때는 표면거칠기 감소는 거의 없으며 공작물의 중량이 감소하는 것으로 나타났다.

이러한 현상은 가공시간이 약 10분 정도까지는 초기의 거친 표면이 미디어의 미세 절삭작용으로 인하여 표면거칠기가 점차로 감소하지만, 가공시간을 계속하여 증가시키면 미디어가 공작물표면을 가공하면서 남긴 긁힘 현상으로 인하여 공작물의 표면거칠기는 크게 감소하지 않고 거의 일정해진다.[1]

즉, 공작물을 10분 이상 가공하는 것은 공작물의 표면거칠기 개선에는 의미가 없고 단지 가공량만을 증가시키는 것이므로 공작물 가공시간은 10분으로 고정한다.

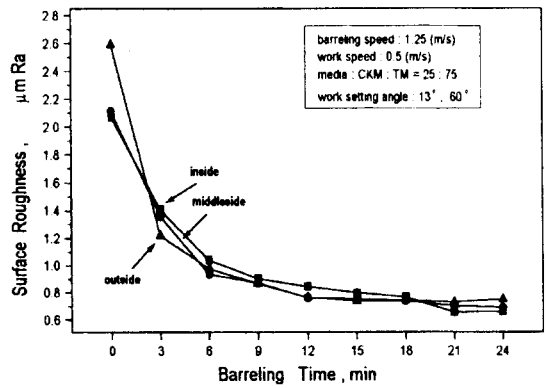

Fig. 4 Surface roughness versus barreling time

3.2 공작물 속도와 표면거칠기 관계

Fig.5는 가공시간을 10분으로 고정한 후 공작물 속도에 따른 각위치별 표면거칠기 변화상태와 공작물 속도 증가에 따른 가공량과의 관계를 나타낸 것이다.

전체적인 경향은 공작물속도가 1.5m/sec 인 지점에서 공작물전면의 내측과 중간, 외측의 표면거칠기차가 가장 적은 것으로 나타났다. 내측의 경우는 공작물 속도가 증가함에 따라 표면거칠기는 양호해지다가 2.0m/sec 이상에

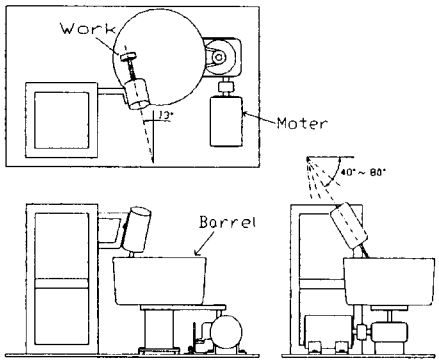

Fig. 3 Device of barrel machining

서는 다시 나빠지는 것을 볼 수 있다. 중간부분의 표면거칠기 값은 공작물 속도 1.5m/sec 까지는 감소하다가 그 이상에서는 불량해지는 것으로 나타났다. 외측의 경우 또한 공작물 속도 1.5m/sec 이상에서 표면거칠기 값이 증가하였다. 가공량은 공작물 속도가 증가함에 따라 계속하여 증가하는 것으로 나타났다.

공작물 속도가 증가하면서 각각의 위치별 표면거칠기차가 점차 감소하다가 공작물 속도 1.5m/sec이상에서 다시 증가하는 이유는 공작물 속도가 저속일 경우 (0.5m/sec)에는 외측은 원주속도가 크기 때문에 어느 정도 가공이 되지만 내측으로 갈수록 원주속도는 감소하여 초기의 거친 표면을 완전히 가공하지 못하기 때문이다. 하지만 공작물 속도가 증가하면서 내측과 중간의 표면거칠기 값이 양호하게 나타난다. 공작물 속도 2.0m/sec이상에서는 가공량은 증가하지만 미세 절삭에 의하여 거친 표면이 양호해지기보다는 속도가 너무 빨라서 미디어에 의한 긁힘 현상 때문에 표면거칠기가 불량해 지고 각 위치의

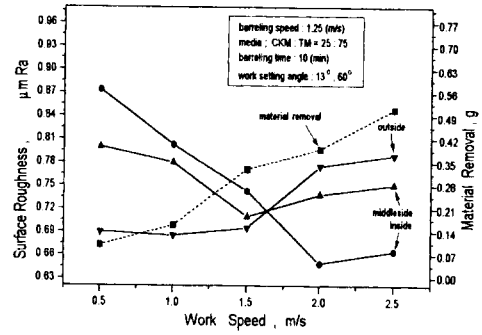

Fig. 5 Surface roughness and material removal versus work speed

차도 커지게 된다. 그러므로 공작물 속도는 1.5m/sec로 하는 것이 가장 양호하다.

3.3 연마재 혼합비율과 표면거칠기 관계

Fig.6은 연마재(CKM,TM)의 혼합비율과 각 위치별 표면거칠기와의 관계를 나타낸 것이다.

연마재 혼합비율(CKM : TM)이 100 : 0 즉, CKM 연마재로만 가공했을 때의 표면거칠기는 약 0.8㎛이며, 연마재 혼합비율이 0 : 100 즉, TM연마재로만 가공하였을 경우는 각 위치별 표면거칠기의 차가 아주 크게 나타난다. 연마재 혼합비율이 25 : 75 일 때 즉, CKM의 비율이 25%이고 TM의 비율이 75%인 경우가 공작물의 내측,

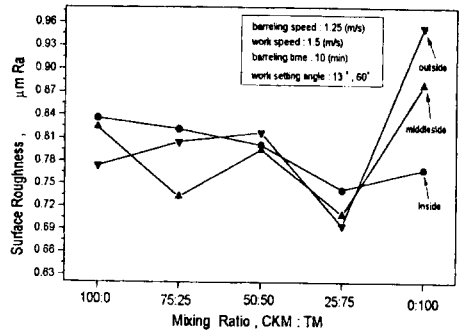

Fig. 6 Surface roughness versus mixing ratio of media

중간, 외측의 표면거칠기차는 크지 않으며 표면상태도 양호한 것으로 나타났다. 연마재의 선택에 있어서 CKM 이나 TM만으로 공작물을 가공하는 것보다는 두 가지 연마재를 적절히 혼합하여 사용하는 것이 표면거칠기도 양호하며 각위치별 표면거칠기의차도 작은 것으로 나타났다. 이것은 한가지 연마재로만 가공하였을 때 표면거칠기의 값이 각각의 연마재 한계 거칠기 값에 근접하며 또한 두 가지 연마재를 적절히 혼합했을 경우의 한계 거칠기보다 높기 때문이다.

본 실험에서는 연마재 혼합비율(CKM:TM)은 25 : 75 가 가장 적절한 것으로 나타났다.

3.4 공작물 설치각도와 표면거칠기 및 가공량과의 관계

Fig.7은 공작물설치 각도에 대한 표면거칠기 변화상태 및 가공량의 변화를 나타낸 것이다.
내측의 경우 공작물 설치 각도가 증가함에 따라 표면거칠기는 급격히 양호해 지다가 70° 이상에서는 불량해지는 경향을 보였다. 중간 부분의 경우는 내측의 경우와 마찬가지로 표면거칠기 감소 기울기는 비록 완만하지만 70° 까지는 양호해지다가 그 이상에서는 불량한 것으로 나타났다. 외측의 표면거칠기는 서서히 증가하다가 80° 에서 급격히 증가한다.

공작물 설치각도 40° 에서 외측, 중간부분과 내측의 표면거칠기차가 큰 것은 회전하는 연마재의 유동방향과 공작물과 접촉하는 각도가 크기 때문에 공작물 자체회전에 의하여 공작물에 작용하는 절삭력이 내측보다는 외측이 상대적으로 크기 때문이다. 공작물 표면에 작용하는 내측과 외측의 상대절삭력은 공작물 설치 각도가 증가함에 따라 감소한다. 그러나 공작물 설치각도가 너무 크게(80° 이상) 되면 각부분에 작용하는 절삭력의 차이는 거의 없지만 연마재가 유동하면서 발생시키는 굽힘 현상 때문에 표면거칠기가 개선되기보다는 오히려 불량해지는 것으로 나타났다.[7,8,9]

공작물 설치각도 60° 에서 각위치별 표면거칠기차가 가장 작은 것으로 나타났다.

가공량은 공작물 설치각도가 증가함에 따라 계속 증가하였다.

결과적으로 가공량이 많은 80° 로 수 분동안 가공한 후, 표면거칠기가 양호한 60° 로 마무리가공을 한다면 비교적 균일한 표면거칠기와 가공량을 얻을 수 있을 것이다.

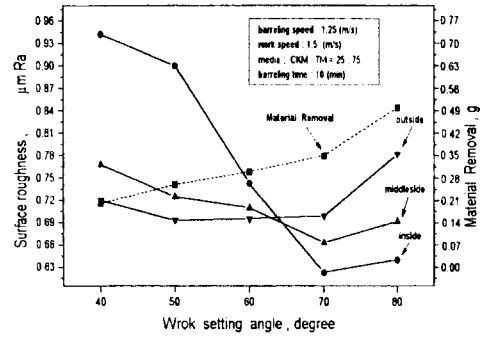

Fig. 7 Surface roughness and material removal versus work setting angle

3.5 원형(Prototype)의 공작물속도에 따른 표면 거칠기와의 관계

Fig.8은 원형(Prototype)의 공작물속도에 따른 표면거칠기의 변화상태를 나타내었다. 공작물속도에 따른 위치별 표면거칠기는 전면은 공작물속도가 증가할수록 불량하나, 측면은 양호해지는 경향을 보였다. 오차는 1.8m/sec에서 가장 작게 나타내었다.

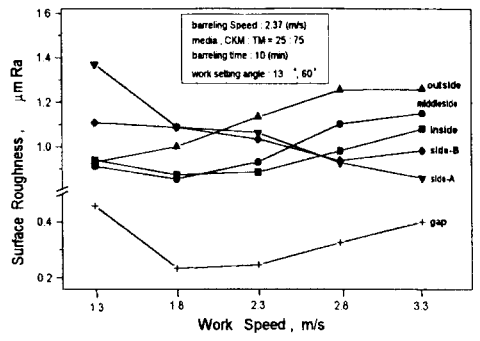

Fig. 8 Surface roughness versus work speed of Prototype

위치별 표면거칠기는 1.8m/sec에서 가장 양호하게 나타났는데 공작물과 배럴의 상대속도가 일치가 되어서 연마재의 순환, 회전, 자유이동이 잘이루어 진다고 생각된다. 전면의 내측은 1.3m/sec에서 외측과 중간보다 불량하다가 1.8m/sec이상에서는 외측과 중간보다 양호해 지는데 이것은 속도가 증가할수록 외주의 절삭력이 속도에 비례하

여 커지기 때문이다. 그러나 외측은 연마력이 외주에서 커지므로써 불량하게 되었다. 이것은 회전하는 연마재가 공작물과 접촉하는 절삭력이 크므로써 10분전에 이미 연마가 된 상태에서 연마재에 의해 긁힘현상이 발생되는 것으로 생각된다. 측면은 공작물속도가 증가할수록 계속적으로 완만하게 떨어지는 경향을 보였다.

이것은 연마재가 저속에서 절삭력이 작아서 공작물의 측면뒷부분까지 연마하지 못하나 속도가 증가할수록 절삭력이 커지므로 점진적으로 연마가 되었다.

4. 결 론

본 연구에서 배럴가공을 응용한 가공기를 설계 제작하여 공작물전면의 균일한 가공을 목적으로 가공시간과 공작물속도, 연마재 혼합비율, 공작물 설치각도에 따른 표면거칠기 및 가공량을 측정하여 비교하였다. 또한 실제 알루미늄휠에 적용, 실험하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) 공작물 가공시간은 10분으로 하는 것이 효율적이며 그 이상에서는 표면거칠기는 거의 개선되지 않는다.
(2) 공작물 속도는 1.5m/sec 로 가공하였을 때 균일한 가공면을 얻을 수 있었다.
(3) 연마재 혼합비율이 CKM : TM 이 25 : 75 일 때 표면거칠기가 양호해 진다.
(4) 공작물 설치각도 60°와 70°에서 보다 균일한 가공을 할 수 있다.
(5) 원형(Prototype)의 실험에서 공작물의 속도는 1.8m/sec에서 양호하게 나타났지만, 공작물속도를 초기 가공시 고속으로 하고 후에 저속으로 하여 표면거칠기를 균일하게 얻을 수 있음을 알았다.

참 고 문 헌

[1] 한성호, 알루미늄 표면처리(그 이론에서 실무 까지), pp.70-71, 1993.
[2] 李聖遠, 鍍金技術, pp.125-131, 1991.
[3] Nakajima, A., Proc. JAPAN Inter. Trib. Conf., Nagoya., pp. 773-778, 1990.
[4] 三浦重, "バレル研磨と 自動化ライン企劃", 金屬プレス, Vol: 29, No: 10, pp. 49-52, 1990.
[5] 金永喆, 崔求淵, 金相洛, 李瓊雨, 李 馥, 精密工作法, pp. 445-453, 1974.
[6] 廉熙澤, 最新 金屬表面處理, pp.213-215,56-60, 1988.
[7] 大成研磨産業, 日刊 機械技術, Vol.24, No.10, pp.188, 1997.
[8] 金東垣, 鄭錫柱, 新編 機械工作法, pp. 363, 1990.
[9] Ishibashi, A. and Hoyashita S., Tribology International, pp. 357-365, 1982.
[10] 이종대,이징구, 最新 정밀측정학, pp.273-296, 1995.