

드래그 피니싱 공정 기반 폴리싱 연마제를 이용한 초경 드릴 및 서멧 리머 공구의 가공 평가

하정호*, 사민우*,#

*에스제이티 기업부설연구소

Machining Evaluation of Carbide Drill and Cermet Reamer Using Polishing Media Based on Drag Finishing Process

Jeong-Ho Ha*, Min-Woo Sa*#

*SJT R&D Center

(Received 02 November 2021; received in revised form 22 November 2021; accepted 25 November 2021)

ABSTRACT

After drilling, reaming is required to process a workpiece for obtaining an excellent surface quality. In general, a cermet is defined as a “composite of a ceramic hard phase and metal-bonded phase.” Cermets have excellent abrasion resistance, thermal resistance, and performance in finishing operations that require surface roughness and processing precision. However, although cermets have significant advantages, research on them is insufficient. In this study, workpiece SM45C was machined using drills and cermet reamers. The cermet reamer was processed for drag finishing for 0, 4, and 6 min. The experimental results showed the effects of drag finishing on surface roughness and dimensional accuracy.

Keywords : Drag Finishing(드래그 피니싱), Drill(드릴), Cermet(서멧), Reamer(리머), Surface Roughness(표면 거칠기)

1. 서 론

자동차 변속기는 엔진에서 발생하는 동력을 주행상황에 맞게 필요한 회전력으로 바꾸어 바퀴에 전달하는 장치이다. 변속기에는 시프트 포크가 있는데 시프트 포크의 조작을 통해 각 기어의 조합을 바꿔주는 중요한 장치이다.^[1] 이 시프트 포크에는 약 40mm 깊이의 홈이 있으며 재료에 일정한 구멍을 뚫기 위해 드릴 가공을 하는 것은 중요하다.^[2] 시프트 포크의 홈 가공은 우수한 품질의 홈을 요구한다. 이를 만족시키기 위해서는 드릴

가공만 하는 것이 아니라 드릴 가공 후 리머 가공을 추가로 하여 표면의 품질을 우수하게 만들어야 한다.^[4-6] 일반적으로 리머는 초경 리머를 많이 사용하지만 철과의 친화도가 낮아 구성인선이 덜 발생한다는 장점과 수명이 길고 표면 품질이 우수하다는 장점들 때문에 서멧 리머를 사용한다.^[7] 일반적으로 서멧이란 “세라믹 경질상과 금속 결합상의 복합체”로 정의하고 있는데, 절삭 공구계에서는 이 보다는 협의로써 “Tic 혹은 Ti(C,N)을 바탕으로 Ni, Co 결합상으로 하는 초경재료”로 통용되고 있다.^[8]

양품의 시프트 포크를 만들기 위해서는 홈 표면 다듬질이 우수해야 한다. 시각적으로 보았을 때 홈에 회색빛 스크래치가 있으면 불량이라고 판정하고 있다. 정량적

Corresponding Author : 79smw42@gmail.com

Tel: +82-53-586-6210, Fax: +82-53-586-6211

Copyright © The Korean Society of Manufacturing Process Engineers. This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution-Noncommercial 3.0 License (CC BY-NC 3.0 <http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

으로는 홀 표면 거칠기를 측정하여 1.0 Ra 미만으로 측정되면 양품이라고 한다. 또한 제품의 적합 판정을 위해 내경이 0.05mm의 치수 오차 내에 들어오는 것을 양품이라고 간주한다.

양품의 시프트 포크 홀을 가공하기 위해서는 위에서 기술한 조건들을 만족해야 한다. 이를 만족시키기 위해서는 다양한 방법들이 있지만 절삭 공구 날 부분을 적절히 처리하면 공구의 수명 및 성능에 영향을 미칠 수 있다. 이처럼 절삭 공구의 날 부분 에지가 가공 시 중요하다.^[9]

Drag finishing 공정에서 공작물은 특수 설계된 홀더에 고정된다. 이 홀더는 공작물과 드럼 통에 있는 연마제를 원형으로 마찰시키게 되고, 이 고속 동작은 공작물과 연마제 사이에 높은 접촉 압력을 발생시킨다. 따라서, 매우 짧은 시간 내에 고정밀 엷지 라운딩, 팽택을 통해 매우 우수한 품질의 경면 형태로 완벽한 결과를 얻을 수 있다. 하지만 이와 같은 연구는 아직까지 이루어지지 않았기 때문에 본 연구에서는 드릴과 리머의 성능을 향상시키기 위해서 drag finishing 처리를 하였고 drag finishing 처리를 한 공구의 성능을 비교 분석하여 평가하였다. 성능 평가를 위해 드릴 리머 가공 후 홀의 표면 거칠기를 측정하였고 내경도 측정하였다.

2. 재료 및 방법

2.1 실험 장치 및 방법

Fig. 1은 시프트 포크를 보여준다. 시프트 포크에 직경 14.2mm, 깊이 40mm의 홀이 존재하는데 이를 가공하기 위해서 Fig. 2에 보이는 드릴과 리머를 사용하여 가공해 준다. Fig. 3은 작업의 개략도를 보여준다. 먼저 드릴을 이용하여 피삭재에 홀 가공을 해주고 리머로 마무리 작업을 해준다. 홀 표면 품질을 위해서 리머 작업은 매우 중요하다. Fig. 4는 실험 장비의 셋업 사진을 보여준다. Fig. 4(a)는 MCT 장비를 보여주고 있으며 장비 내부에 피삭재를 셋팅하고 드릴과 리머공구를 세팅할 수 있게 구성되어 있다. Fig. 4(b)는 피삭재를 지그에 고정된 것을 보여준다. 이때 고정하는 위치는 매 실험마다 일정하게 세팅해 주었다. Fig. 4(c)는 드릴을 MCT 장비에 세팅한 사진이고, Fig. 4(d)는 리머를 MCT 장비에 세팅한 사진이다. Fig. 5는 연마제를 이용한 drag finishing을 하는 장비를 보여준다. Fig. 5(a)는 OTEC사

의 DF-3 장비를 보여주는 사진이고 Fig. 5(b)는 DF-3 장비 내부에 있는 홀더를 보여주고 있다. Fig. 5(c)는 연마제인 H4/400 (OTEC, Germany)을 보여주고 있다. 드릴과 리머를 드래그 피니싱 하기 위해 Fig. 5(b)의 홀더에 공구를 장착하고 Fig. 5(c)의 연마제에 공구를 넣어 회전시켜 준다. 드래그 피니싱은 4분, 6분 동안 회전을 시켜주는데 4분 공구는 정회전 2분, 역회전 2분 동안 작업 되었고 6분 공구는 정회전 3분, 역회전 3분 동안 수행되었다. 실험을 하기 위해서 피삭재 SM45C(40T*120W*200L), 드릴 그리고 리머를 준비하여 MCT장비 Vertical M/C(EST-36D)_BT30에 장착하였다. 드릴 회전수는 1,700rpm, 이송속도는 200mm/min 그리고 리머 회전수는 2,240rpm, 이송속도는 600mm/min으로 설정되었다. Table 1과 2는 드릴과 리머의 상세 정보를 보여준다. 드릴의 외경은 $\phi 14$ 이고 선단각은 140°, 나선각은 30°, 그리고 날 수는 2개 이다. 리머의 외경은 $\phi 14.2$ 이고 면취각은 45°, 나선각은 좌 비틀림으로 5°, 그리고 날 수는 4개이다. Table 3과 4는 SM45C의 화학적 성분과 특성들을 보여준다.



Fig. 1 Photograph of shift fork

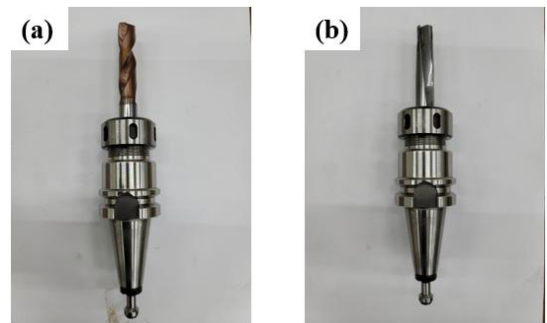


Fig. 2 Photograph of (a) drill and (b) reamer

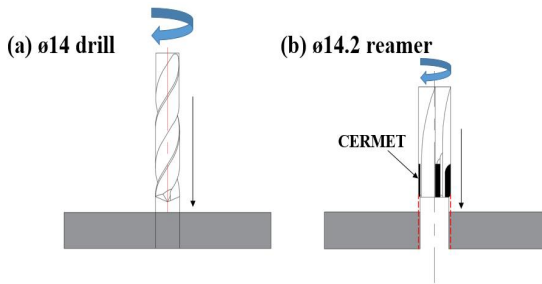


Fig. 3 Schematic diagram of drilling and reaming process

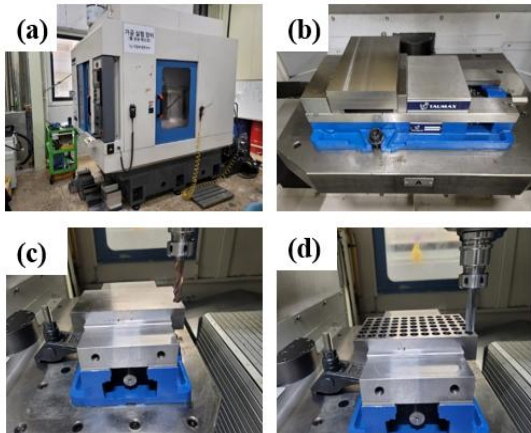


Fig. 4 Experimental set up : (a) Tapping machine (b) Work material (c) Drilling (d) Reaming

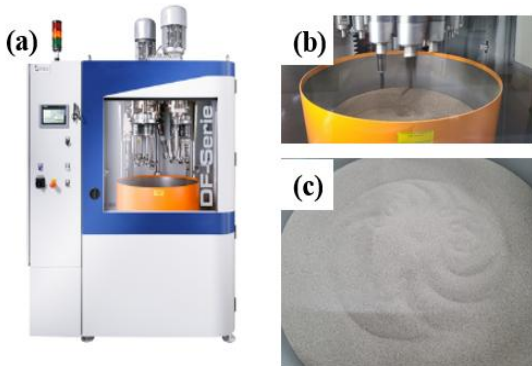


Fig. 5 Equipment for drag finishing : (a) Drag finishing machine (b) Holder (c) Abrasive media

Table 1 Detail information of drill

Division	Value
Outside diameter(ϕ)	14
Point angle($^{\circ}$)	140
Helix angle($^{\circ}$)	30
Number of tool blades	2

Table 2 Detail information of reamer

Division	Value
Outside diameter(ϕ)	14.2
Chamfer angle($^{\circ}$)	45
Helix angle($^{\circ}$)	left twist 5
Number of tool blades	4

Table 3 Chemical composition of SM45C (wt%)

	C	Si	Mn	P	S
SM45C	0.42	0.15	0.60	0.03	0.035
	~0.48	~0.35	~0.90	less	less
	Cu	Cr	Ni	Fe	
	0.3	0.2	0.2	97.6	
	less	less	less	~98.8	

Table 4 Material properties of SM45C

Parameter	SM45C
Density	7,850 kg/m ³
Tensile strength, Yield	490 MPa
Tensile strength, Ultimate	686 MPa
Specific heat capacity	0.486 J/g $^{\circ}$ C
Thermal conductivity	49.8 W/m-K

2.2 실험 결과 측정 방법

피삭재에 생성한 홀의 실험 결과를 측정하기 위해서 몇 가지 장비가 사용되었다. 공구의 마모 및 깨짐 상태와 홀의 표면 상태를 확인하기 위해 Mitutoyo사의 MF-B3017C의 현미경을 사용하였는데 배율은 30배율이다. SM45C 피삭재의 홀 표면 거칠기를 측정하기 위해서 Mitutoyo사의 SJ-210을 사용하였으며 표면 거칠기 측정 기계와 피삭재의 측정위치를 매 측정마다 동일하게 위치시켰다. 표면 거칠기 측정 조건으로 측정 속도는 0.5mm/s, 구간수는 5, $\lambda_c = 0.8$ 그리고 $\lambda_s = 2.5$ 로 설정하여 측정하였다. 그리고 홀 표면 거칠기를 측정

시 구간을 3구간으로 나눠 피삭재 홀 입구에서 아래로 0~13mm의 구간에서 표면 거칠기를 측정하고 13~27mm의 구간에서 그리고 27~40mm 구간에서 표면 거칠기를 측정하였다. 가공된 SM45C 피삭재의 내경을 측정하기 위해 ABERLINK사의 Axiom too CMM을 사용하였다. 내경 측정 시 피삭재 홀의 입구에서 5mm, 20mm, 그리고 35mm 깊이에서 측정하였다. 측정기계의 프로브를 각 깊이마다 4개의 포인트에 접촉시켜 내경을 측정하였다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1 공구의 주축부하

가공 중인 절삭공구의 상태를 확인하기 위한 방법으로 주축부하를 모니터링 하였고 가공 부하가 갑자기 상승하면 공구의 수명이 끝났다고 판단하였다. 여기서 PT는 polishing time의 줄임말임을 의미한다. Fig. 6은 드릴의 주축부하를 보여주는 그림이다. 한 개의 그래프에 PT 0M, 4M 그리고 6M분의 결과를 정리하였고 왼쪽 바부터 0M, 4M 6M의 주축부하를 차례대로 배열하였다. 피삭재 1개당 66개의 홀을 가공하며 깊이는 40mm이다. 드릴의 경우 PT 0M은 주축부하가 17%로 시작해서 7번째 플레이트에서 19~23%까지 올랐고 가공을 멈추고 현미경으로 공구를 관찰하였다. PT 4M은 주축부하가 17~19%로 시작하여 8번째 19~21%까지 올랐고 가공을 멈추고 현미경으로 공구를 관찰하였으며 PT 0M보다 수명이 더 길었던 것을 보아 드래그 피니싱의 영향이 있었음을 알 수 있었다. PT 6M은 주축부하가 15~19%로 시작하여 6번째 19~23%까지 올랐고 가공을 멈추었다. 경향적으로 PT 6M이 4M보다 수명이 더 길어야 하지만 이는 드래그 피니싱을 오래할수록 수명이 길어지는 것이 아니라 최적의 조건이 있음을 알 수 있었다.

Fig. 7은 리머의 주축부하를 보여주는 그림이다. PT 0M은 주축부하가 4~6%에서 시작하여 5번째에 15~19%까지 급격하게 상승하였고 이 후에 가공을 멈추고 현미경으로 공구를 관찰하였다. PT 4M은 주축부하가 3~4%로 시작하여 5번째에 19~21%까지 급격하게 상승하여 가공을 멈추고 현미경으로 공구를 관찰하였다. 이를 통해 드래그 피니싱을 4분 수행하였을 경우에는 드래그 피니싱의 영향이 미미했음을 알

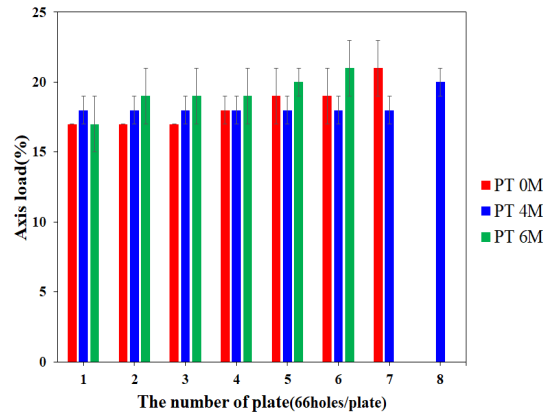


Fig. 6 Variation of drill spindle load during drilling

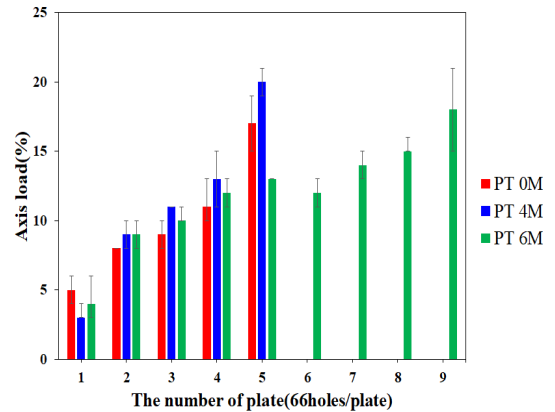


Fig. 7 Variation of reamer spindle load during reaming

수 있었다. PT 6M은 주축부하가 3~6%로 시작하여 5번째에 13%까지 상승하였고 상대적으로 부하 상승률이 작아 계속 가공을 진행하였고 9번째에 부하가 15~21%까지 상승하여 가공을 멈추고 현미경으로 공구를 관찰하였다. 이는 서멧 리머의 날 부에 드래그 피니싱을 6분 수행하였을 때 성능이 가장 좋았음을 의미한다.

3.2 공구 절삭날 관찰

실험에 사용된 공구들을 관찰하기 위해서 현미경을 이용하였다. Fig. 8은 홀 가공한 후의 드릴과 리머 공구를 확대하여 보여주고 있다. Fig. 8(a)는 현미경으로 찍은 드릴의 사진을 보여준다. 관찰한 부위는 절삭

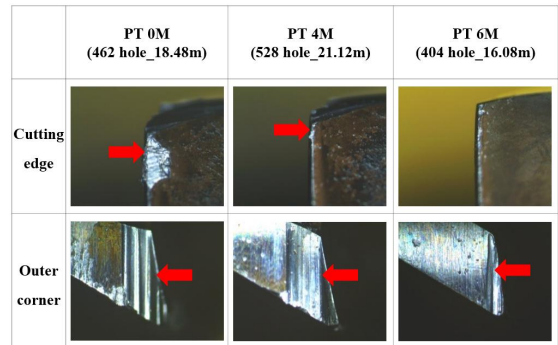
날, 외주코너 2가지 부위를 관찰하였다. 먼저 드릴은 PT 0M의 경우 수명이 18m였고, 절삭날 부위에 마모를 관찰할 수 있었고 외주 코너 끝단에서도 마모를 관찰할 수 있었다. PT 4M의 수명은 21m였고 상대적으로 절삭날 부위의 마모는 적게 나타난다. 반면에, 외주코너는 PT 0M과 비슷한 수준으로 마모가 관찰되었다. PT 6M의 수명은 16m이고 상대적으로 다른 공구들에 비해서 절삭 날이 깨끗하게 관찰되었다. 외주 코너는 다른 공구에 비해서 마모가 적게 발생한 것으로 관찰되었다.

Fig. 8(b)는 현미경으로 찍은 리머의 사진을 보여준다. 절삭날과 여유면을 관찰하였는데 전체적으로 큰 차이를 보여주지는 않았다. 먼저 절삭날 부터 설명을 하면, PT 0M의 리머는 수명이 13m이고 공구 주위에 탄 흔적이 보였고 찍힌 자국도 보였다. PT 4M의 수명은 13m로 PT 0M과 같지만 PT 0M과는 달리 탄 흔적은 보이지 않았고 PT 0M과 유사하게 찍힌 흔적이 보인다. PT 6M의 경우에는 수명이 23m이고 PT 4M과 마찬가지로 탄 흔적은 보이지 않았으나 찍힌 흔적은 관찰할 수 있었다. 그리고 여유면은 PT 0M, 4M 그리고 6M 모두 마모된 형태가 비슷함을 확인할 수 있었고 끝단에 미세한 마모를 관찰할 수 있었다. 3개의 공구 모두 외주코너 만을 비교해서는 큰 차이를 확인할 수 없었다.

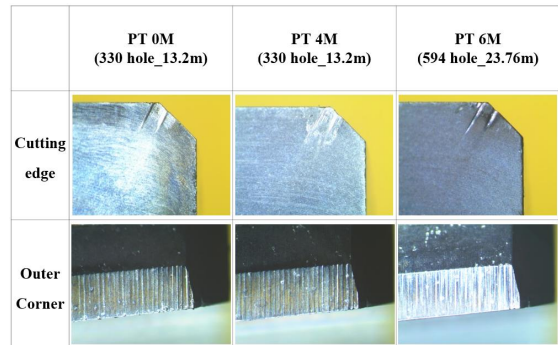
3.3 피삭재 홀의 표면 관찰

현미경을 이용하여 4번째 피삭재의 마지막 홀을 확대 관찰하였다. Fig. 9는 4번째 피삭재의 마지막 홀의 표면 상태를 보여준다. 홀을 관찰하기 위해 엔드밀로 마지막 홀의 일부를 삭제하여 현미경으로 관찰할 수 있도록 하였다. 홀은 40mm 깊이를 가지고 있어 모든 부분을 확대 관찰할 수 없었기 때문에 상부, 중앙 그리고 하부로 나눠서 관찰하였다. PT 0M의 상부는 거칠게 굽힌 흔적이 보이고 중앙과 하부에서는 굽힌 흔적이 상부 표면보다는 연하고 규칙적인 스크래치를 관찰할 수 있었다. PT 4M은 중앙에 매우 거칠게 굽힌 흔적이 보이고 하부에서도 전체적으로 거칠게 굽힌 흔적이 관찰된다. 반면 상부에서는 굽힌 흔적이 규칙적이고 상대적으로 연하게 굽힌 흔적이 관찰된다. 이는 PT 4M의 공구 상태가 PT 0M보다 더 나은 모습을 보여준다. PT 6M은 상부, 중앙 그리고 하부에서

규칙적으로 굽힌 흔적이 관찰되고 PT 0, 4M과 비교해서 상대적으로 거칠게 굽힌 흔적이 발견되지 않는다. 이는 PT 6M의 공구 상태가 좋음을 의미하고 홀의 표면에 생긴 거칠기가 우수함을 알 수 있었으며 PT 0M과 4M에 비하여 피삭재를 더 가공할 수 있음을 알 수 있었다.



(a) Drill



(b) Reamer

Fig. 8 Wear images after tool processing

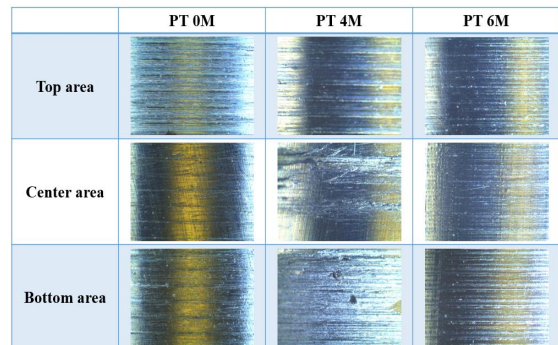
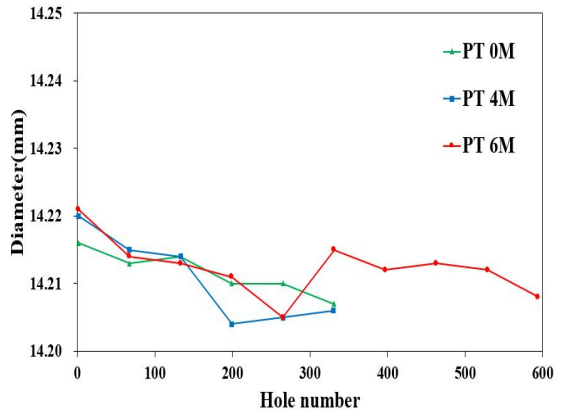
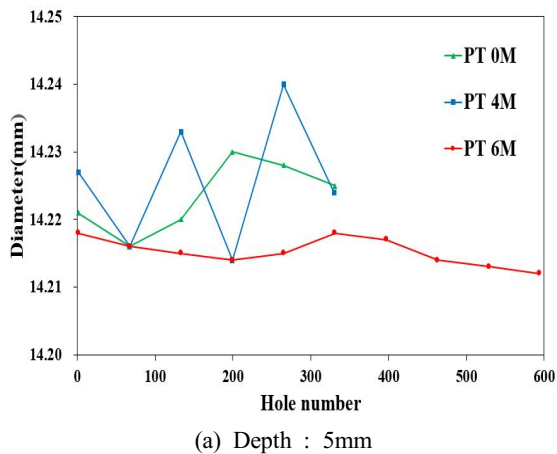


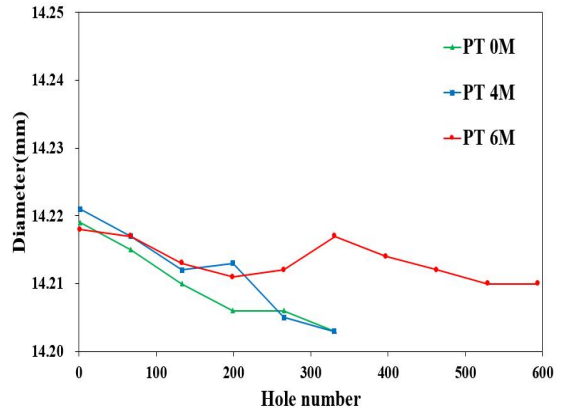
Fig. 9 Hole surface images for 4th plate

3.4 피삭재 홀의 내경 측정

Fig. 10은 가공이 진행됨에 따라 내경의 치수 변화를 나타내는 그래프이다. 내경은 홀의 입구에서 5mm 아래의 4개 포인트에서 측정된 데이터와 입구에서 20mm 아래의 4개 포인트에서 측정된 데이터 그리고 35mm 아래의 4개 포인트에서 측정된 데이터로 그래프를 그렸다. Fig. 10(a)는 입구로부터 5mm 깊이에서 측정된 결과를 보여 준다. PT 0, 4M의 경우는 홀 가공을 진행함에 따라 불규칙적으로 내경이 측정되었지만 PT 6M은 상대적으로 PT 0, 4M에 비하여 일정한 값을 유지하였고 가공을 진행함에 따라 서서히 감소하였다. Fig. 10(b)는 입구로부터 20mm 깊이에서 측정된 결과를 보여준다. PT 0, 4M은 가공을 진행함에 따라 내경이 감소하는 것을 확인할 수 있지만 PT 6M은 5번째 홀까지는 서서히 감소하다가 6번째 홀에서 갑자기 상승했고 다시 7번째 홀에는 서서히 감소하는 것을 확인할 수 있었다. PT 0, 4M에서 가공을 진행함에 따라 내경이 서서히 감소하는 것은 입구에서 5mm의 깊이에서보다 중앙에서 더 안정적으로 홀 가공이 진행되었음을 보여준다. Fig. 10(c)는 입구로부터 35mm 깊이에서 측정된 내경의 치수 결과를 보여준다. PT 0, 4M은 가공을 진행함에 따라 내경이 감소했지만 PT 6M은 상대적으로 일정하게 유지되는 것을 확인할 수 있다. PT 0, 4M에서 가공을 진행할수록 내경이 작아지는 것은 공구의 흔들림이 작다는 것을 의미한다.



(b) Depth : 20mm



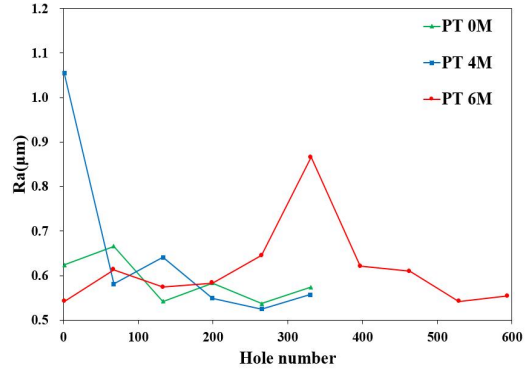
(c) Depth : 35mm

Fig. 10 Variation of inner diameter at different depth

3.5 피삭재 홀의 표면 거칠기 측정

Fig. 11은 표면 거칠기 값을 그래프로 나타내었다. 홀 표면 거칠기를 측정하기 위해 상부(0~13mm), 중앙(13~27mm) 그리고 하부(27~40mm)로 범위를 나누어서 표면 거칠기를 측정하였다. Fig. 11(a)는 홀의 상부에서 표면 거칠기를 측정된 결과를 보여준다. PT 0M과 4M의 첫 홀에서 Ra가 1.0이 넘는 값을 측정하였고 다음 판에서 다시 감소하였지만 가공을 진행함에 따라 상승하는 경향을 보였다. PT 6M은 표면 거칠기 값이 일정하게 유지되다가 6번째에서 상승하였지만 다시 감소하였고 6번째에서 급격하게 상승한 표면 거칠기를 제외하면 거의 일정하게 값이 유지되었다. Fig. 11(b)는 홀의 중앙에서 표면 거칠기를 측정된 결

과를 보여준다. PT 4M의 첫 홀에서만 Ra가 1.0이 넘는 값을 얻었고 PT 0M의 경우에는 가공이 진행됨에 따라 표면 거칠기가 일정하게 측정되다가 마지막에 Ra가 1.0을 넘지 않는 수준에서 상승한 것을 확인할 수 있었다. PT 6M의 경우에는 6번째에서 상승하였다가 다시 감소함을 확인할 수 있다. Fig. 1(c)는 홀의 하부에서 표면 거칠기를 측정된 결과를 보여준다. PT 0M은 상대적으로 가공이 진행됨에 따라 일정한 값을 유지하였고 PT 4M은 첫 홀에서 Ra가 1.0을 넘는 값을 얻을 수 있었지만 가공이 진행됨에 따라 일정한 값을 유지하였다. PT 6M은 가공을 진행함에 따라 표면 거칠기가 일정하게 유지 되었지만 6번째에서 상승하였다가 다시 감소하였다. 전반적으로 PT 6M은 6번째의 첫 번째 홀에서 표면 거칠기가 상승하였지만 Ra가 1.0을 넘지 않고 다른 홀에서는 거의 일정하게 값이 유지 되었다.



(c) range : 27~40mm

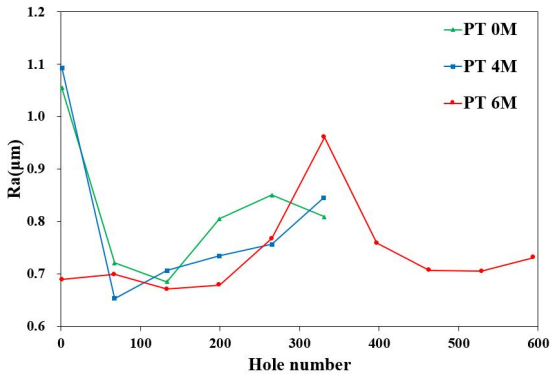
Fig. 11 Variation of surface roughness at different depth

4. 결론

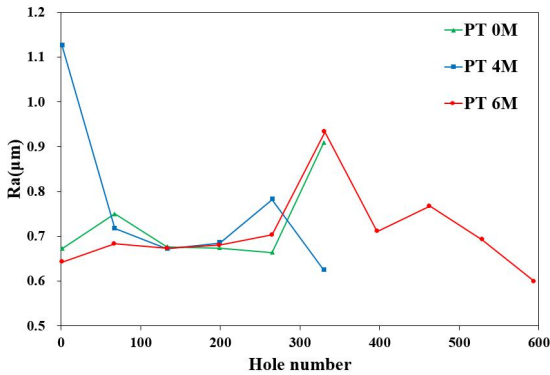
본 연구에서는 연마제를 이용한 드릴과 리머의 폴리싱이 가공된 홀에 미치는 영향을 연구하였으며 표면 거칠기, 홀의 내경 그리고 홀의 표면을 결과로 나타내었다. 결과들을 통해 아래와 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. SM45C에 드릴 가공을 한 후 리머 가공을 하면 0.05mm 이내에 들어오는 치수정확도를 얻을 수 있었으며, 거의 대부분의 홀에서 Ra 1.0 미만의 우수한 표면 거칠기 값을 얻을 수 있었다.
2. 4번째 피삭재 중 마지막 홀의 표면 상태를 관찰한 결과 PT 6M의 홀이 가장 규칙적이고 일정한 스크래치를 확인할 수 있었으며 이는 계속해서 가공을 더 진행하기에 충분한 상태임을 보여주는 결과라고 판단되었다.
3. 실험 결과에서는 폴리싱 시간을 6분으로 했을 때가 다른 비교 조건보다 더 우수한 실험 결과를 보여줬지만 폴리싱 시간을 늘릴수록 우수한 실험 결과를 나타내는 것은 아니라는 것을 폴리싱 시간 4분의 결과가 보여 주었다.

본 연구를 통해 얻어진 데이터를 통해 실제 슈프트 포크에서 가공할 드릴과 리머에 폴리싱 연마를 수행함으로써 수명을 향상시키는 결과를 얻을 수 있었고,



(a) range : 0~13mm



(b) range : 13~27mm

향후 드래그 피니싱 장비의 가공 조건을 바꿔 연마 시간을 단축시키고 최적 조건을 탐색하는 연구를 추가로 할 계획이다.

후 기

“본 연구는 2021년도 중소벤처기업부 기술혁신개발 사업 소부장 일반의 지원에 의해 연구되었음. (S3039100)”

REFERENCES

1. Liu, Z. S., Zhang, X. Q., Gao, X. Q., “Topology Optimization of the Transmission Shift Fork,” *Applied Mechanics and Materials*, Vol. 325-326, pp. 167-171, 2013.
2. Kim, J. S., “A Study on the Characteristics of Chamdrilling for SCM415 Steel,” *Journal of the Korean Society of Manufacturing Process Engineers*, Vol. 20, No. 5, pp. 27-34, 2021.
3. Choi, S. Y., Hwang, C. W., Lee, S. T., “Cutting Conditions of Carbide Insert Drill,” *Journal of the Korean Society of Manufacturing Process Engineers*, Vol. 20, No. 6, pp. 10-16, 2021.
4. Melo, T. F. L., Ribeiro, F. S. L. M., Arruda, É. M., Brandão, L. C., “Analysis of the Surface Roughness, Cutting Efforts, and form errors in bore reaming of hardened steel using a statistical approach,” *Measurement*, Vol. 134, pp. 845-854, 2019.
5. Ahmed, S. L., Kumar, P. M., “Optimization of Reaming Process Parameters for Titanium Ti-6Al-4V Alloy Using Grey Relational Analysis,” *Proceedings of the ASME 2016 International Mechanical Engineering Congress and Exposition*, Vol. 2, 2016.
6. Cho, J. H., Ha, B. C., Lee, J. C., “A Study on the Performance of Cermet Reamer for Transmission Parts,” *Journal of the Korean Society of Manufacturing Process Engineers*, Vol. 18, No. 5, pp. 17-22, 2019.
7. Park, J. S., Kim, S. W., Kwon, W. T., Kang, S. H., “Effect of Composition on Cutting Characteristics and Reliability Analysis of Ti(C,N) Cermet Tool,” *Transactions of the Korean Society of Mechanical Engineers A*, Vol. 26, No. 11, pp. 2336-2341, 2002.
8. Gang, S. H., “CERMET Technology Trend,” *Machines and Materials*, Vol. 7, No. 2, pp. 6-18, 1995.
9. Voina, I. D., Sattel, S., Contiu, G., Faur, A., Luca, B., “Reamers cutting edge preparation for improvement the GGG 40 machining,” *MATEC Web of Conferences*, Vol. 178, EDP Sciences, 2018.