

브러시 공정을 이용한 변속기 밸브바디의 효율적인 디버링 방법 개발

배준경*, 안동현**, 권병찬***, 고성림***,#

*경남기술대학교 메카트로닉스공학과, **두산인프라코어(주), ***건국대학교 기계설계학과

Development of Efficient Brush Deburring Process for Valve Body of Auto Transmission

Jun-Kyung Bae*, Dong-Hyun Ahn**, Byeong-Chan Kwon**, Sung-Lim Ko***,#

*Department of Mechatronics Engineering, GNTECH UNIV., **Doosan Infracore, ***Mechanical Design and Production Engineering, Konkuk UNIV.

(Received 5 January 2018; received in revised form 7 February 2018; accepted 13 February 2018)

ABSTRACT

The cleanability of machine parts is becoming increasingly important in the industrial field. In particular, cleanability is the most important factor in hydraulic products. The burr and chips are dominant factors of cleanability. If the burrs are not removed completely before the beginning of the machining stage, this will cause many problems, such as scratches and operation failure. Due to the complexity of the valve body itself, it is very difficult to use common deburring tools. In this study, a brush-like deburring tool was suggested and verified as a proper tool for removing the burrs and forming a proper edge shape through a real experiment. Various kinds of brush materials and process conditions were tested for proper deburring of the valve body. It was shown that the suggested method was successful for valve body deburring.

Key Words : Burr(버), Deburring(디버링), Brush(브러시), Cleanability(청정도), Valve Body(밸브 바디)

1. 서 론

산업 발달에 따라 사람들은 보다 높은 효율과 뛰어난 성능의 기계를 원하게 된다. 이런 요구를 만족시키기 위해서는 보다 복잡하고 정밀한 가공이 필요하고, 그에 따라 최근에는 부품의 청정도 문제가 대두되고 있다. 청정도란 가공 후, 부품 내부에 잔존하는 버나 칩의 처리 정도를 뜻한다.^[1] 버는 절삭가공 시 소성변형에 의해 가공 부위의

모서리에 발생하여 정밀도에 영향을 주는 돌출된 부위를 말하며, 칩은 버가 탈락되어 떨어져 나간 이물질을 말한다.^[2] 부품의 정밀도가 높아질수록 버나 칩의 잔재로 인한 문제는 더욱 크게 나타나게 된다. 특히, 최근에는 유압 제품들이 늘어나면서 이러한 문제는 더욱 심각해진다. 유압 제품 내에 버가 잔존해 있으면 고온고압의 유체에 의해 지속적인 힘을 받게 되고 결국 탈락하게 되어 부품 내부를 유동하여 부품의 기능 저하나 상실을 야기하게 된다. 자동차 산업의 경우, 엔진 실린더 헤드 및 변속기 밸브바디 내에 많은 오일 홀이 존재하게 된

Corresponding Author : slko@konkuk.ac.kr

Tel: +82-2-450-3465, Fax: +82-2-457-8895

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.

다. 이런 오일 홀들은 서로 복잡하게 교차하고 있으며 그 크기와 깊이가 다양하게 형성되어 있다. 교차하는 오일 홀에 버가 잔존해 있으면 오일 유동 시 버가 탈락하여 엔진 및 변속기 내부를 함께 유동하게 되며 결국 성능에 치명적인 결함을 가져오게 된다.

따라서 기업에서도 이러한 버 발생 문제는 매우 심각한 문제이며 버와 칩의 처리에 대한 많은 고민을 갖고 있다. 디버링이 제대로 이루어지지 않을 경우 제품성능에 중대한 영향을 끼치므로 대부분의 기업들은 다양한 방법을 이용하여 버 제거 작업을 하고 있으며, 이러한 부분은 작업 시간을 증가시키고 그에 따른 원가 상승을 초래한다.^[3-8] 특히, 유압 부품의 경우 오일 홀에 존재하는 버를 제거하기란 쉽지 않아 많은 기업들의 심각한 문제가 되고 있다.

Fig. 1과 같은 변속기 밸브 바디의 경우 일반적인 형태와는 다른 교차 홀을 형성한다. 다수의 윈도우 부분으로 형성되어 있는데 이러한 윈도우 부분의 경우 좁고 긴 형태의 모서리를 형성하여 버 발생과 제거에 매우 취약하다. 또한 형태가 특수하여 기존 디버링 공구로는 윈도우 부분에 발생한 버를 효과적으로 제거할 수 없다.

윈도우 부분은 고온 고압의 오일이 지나다니는 통로 역할을 하게 되어 버 발생 시 그 문제점은 매우 심각하다. 윈도우 부분에 Fig.2와 같은 버가 발생하고 그 부분에 오일이 지속적으로 유동하게 되면 버가 탈락하게 되고 내부를 같이 유동하게 되기 때 문이다. 또한, 버가 탈락할 때 버 자체의 탈락으로 끝나는 것이 아니라 주변 소재 부와 동반 탈락하게 된다. 그 결과, 버의 탈락부는 매우 취약한 파단면이 생성되며 또한 탈락된 부분은 생성된

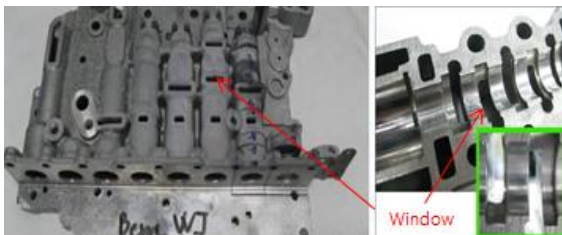


Fig. 1 Transmission valve body and many windows

버의 크기보다 더욱 확장된 형태의 칩을 발생시키며 그 형태가 좁고 긴 형태를 띠어 내부 유동 시 치명적인 결함을 가져올 수 있다.

또한, 밸브 작동에 핵심적인 역할을 하는 부품인 만큼 오일의 압력 유지를 위하여 항상 기밀성을 확보하여야 한다. 문제는 기밀성 확보를 위해서는 가공 모서리가 손상되지 않고 그 형태를 유지하여야 한다는 점이다. 기존 디버링 공구의 경우 대부분 모서리 챔퍼를 이용하여 버를 제거하는데 밸브 바디의 경우 이러한 디버링 공구를 사용할 수 없게 된다. 윈도우 모서리에 챔퍼 형상이 발생하면 오일의 압력이 챔퍼 부분에서 변화하게 되고 밸브를 정확하게 제어하는데 많은 문제점이 발생하게 된다. 따라서 윈도우 부분에 발생한 버를 제어하기 위해서는 기존의 형태를 손상시키지 않고 발생한 버를 제거할 수 있는, 기존과는 다른 방식의 디버링이 필요하다.

기존의 디버링 공구의 경우 드릴 홀에 직접 적용되어 주변부의 챔퍼링 가공을 통해 버를 제거하는 방식을 취하고 있다. 이러한 방식의 경우 오일 홀에 대한 디버링 성능은 뛰어나나 챔퍼를 통한 형상의 변화를 가져오고 특히, 교차 홀에 적용되었을 경우 이러한 챔퍼링 왜곡현상은 더욱 크게 나타난다. 밸브 바디의 특성 상, 이러한 챔퍼링 왜곡현상은 오일 흐름을 제어하는데 있어 매우 치명적인 영향을 끼치며 그 정도에 따라서는 밸브 바디의 기능을 상실하게 된다. 또한 밸브 바디는 직경이 감소하는 형태를 띄고 있어 기존의 디버링 공구로는 디버링을 수행하기 부적합하다는 것을 확인할 수 있다. 따라서 이러한 점들을 고려했을 때 가장 적절하다고 생각되는 방식이 바로 브러시를 이용한 디버링 방법이다.

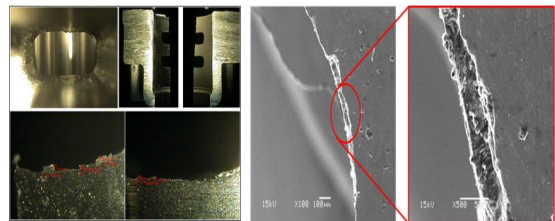


Fig.2 Burr formation at valve body and the formation of fractured chamfer

2. 나일론 브러시의 재질에 따른 디버링 효과

실제 현장에서 가장 많이 사용되고 있는 브러시는 나일론 소재에 연마재를 입힌 브러시이다. 연마재는 알루미늄을 사용하였다. 따라서 연마재를 입힌 나일론 브러시를 이용하여 실험을 진행하였고 직접적인 밸브 바디 적용에 앞서, 시편을 이용한 실험을 진행하였다. 나일론 브러시에 대한 디버링 영향을 객관적으로 확인한 후 분석을 통하여 개선 방법을 찾고 지속적인 실험을 진행하고자 하였다.

Fig.3과 같은 형상의 실험 시편의 가공순서와 조건은 Table 1에 나타나있다. 첫째, 메인 홀을 직경 14.7mm의 드릴 가공 후, 윈도우 부분 가공을 위하여 직경 5mm의 드릴 작업 후 동일 직경의 엔드밀을 이용하여 가공하였으며 그 후에 메인 홀을 실제 조건과 동일한 형태를 만들기 위하여 직경 15mm의 리머 작업을 실시하였다. 이때 0.3mm의 리머 작업 시에 윈도우에 Fig.3에서 1, 2와 3의 위치에 버가 Fig.4(a)와 같이 형성되었다. 실제 변속기와 같은 조건을 만들기 위하여 0.3mm의 리머 작업을 실시하였고 시편의 소재는 Al6061을 사용하였다.

가공 된 시편의 버제거를 위하여 메인 홀 방향으로 연마재를 입힌 나일론 브러시를 적용하였으며 필리멘트의 직경은 0.3mm이고 마이크로 스코프를 이용하여 내부 결과를 확인하였다. 측정된 결과가 Fig.4에 나타나있다.

Fig.4 (a)에서 Fig.3에 표시한 샘플 제작 시 윈도우에서 드릴과 리머의 진행방향에 수직된 면에 발생한 버의 형상을 살펴 볼 수 있다. 발생한 버의 형

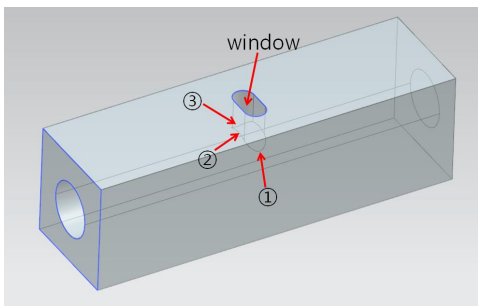


Fig. 3 Geometry of experimental specimen

상을 살펴보면 메인 홀 이송 방향으로 덧살 형태의 버가 선명하게 발생하는 것을 알 수 있다. 덧살 형태의 버는 리머 작업 시 발생한 것으로 판단되고 이러한 덧살 형태의 버는 매우 강한 강성을 갖고 있어 제거하기가 쉽지 않다. Fig.4 (b)와 (c)에 나타난 디버링 결과에서도 알 수 있듯이 덧살 형태의 버는 브러시의 회전운동에 의해서 윈도우의 양옆, Fig.3에서 1과 3의 지점에서의 버는 잘 제거된 것을 알 수 있지만 드릴이송에 수직한 모서리 부분, 지점 2,에서는 버의 형태가 그대로 남아 있음을 알 수 있다.

연마재를 입힌 나일론 브러시에 의한 버제거 작업은 1000rpm의 회전속도와 1000mm/min의 이송속도로 작업하였다. 이 경우 회전 방향으로는 어느 정도의 디버링 능력을 Fig.4(b)와 (c)에서 지점 1과 3

Table 1 The sequence and cutting tools for machining specimen

tool (location)	diameter(mm)	deburbing condition
Drill(main hole)	14.7	1000 rpm 1000 mm/min
Drill (window)	5	
Endmill (window)	5	
Reamer (window)	15	

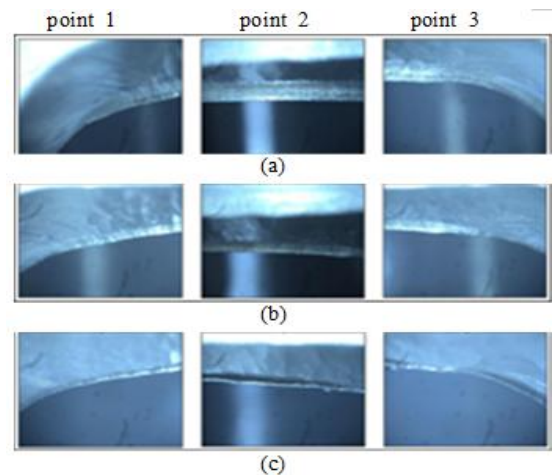


Fig. 4 (a) Burr formation (b) Deburring result by abrasive coated nylon brush (c) Deburring result by abrasive embedded nylon brush

에서 보여주었으나 이송 방향에 대해서는 미약한 디버링 능력을 나타내고 있음을 Fig.4(b)의 지점 2에 남아 있는 버의 형상으로부터 알 수 있다. 이러한 점으로 볼 때 브러시 디버링의 경우 회전 방향에서는 원심력에 의한 버 제거 효과를 볼 수 있으나 이송 방향에 대해서는 그 영향이 미비하다는 것을 추측할 수 있었다. 또한 현재 연마제를 입힌 나일론 브러시의 필라멘트의 강성으로는 덧살 형태로 발생한 이송 방향의 버를 제거하기엔 절삭력이 부족하다는 것을 확인할 수 있었다.

따라서 연마제를 입힌 나일론 브러시에 비해 이송방향으로 좀 더 큰 절삭력을 갖는 브러시가 필요했으며 이러한 문제점을 해결하기 위하여 연마제 함유 브러시를 사용하여 동일한 시편에 대한 실험을 진행하였다. 연마제 함유 나일론 브러시는 연마제와 나일론 성분을 함께 압출하여서 제작된다. 이 경우 기존의 나일론 브러시에 비하여 매우 큰 강성을 가지게 된다. 연마제 함유 나일론의 직경은 연마제를 입힌 나일론 브러시와 동일한 0.3mm를 사용하였다. 그러나 강성이 크게 향상 되었다.

보다 정확한 결과를 비교하기 위하여 문제가 발생하던 이송 방향에 수직한 모서리부에 대한 디버링 결과를 비교하였다. Fig.4(a) 지점 2에서의 평균 버의 크기는 0.65mm로 측정되었다. 이것은 구멍을 절단후 하이트 게이지로 측정하였다. 그 결과, 연마제를 입힌 나일론 브러시에서는 약간의 디버링 효과만을 나타내어서 Fig.4에서 지점 2로부터 약 0.56mm의 크기의 버를 측정할 수 있었다. 이에 비하여 연마제 함유 브러시의 경우 버를 타격하여 눌히는 현상을 Fig.4(c)에서 지점 2에서의 버의 형상으로부터 알 수 있다. Fig.4(b)에서는 이송방향으로 형성된 버의 형태는 그대로 남고 크기만 약간 줄어드는 반면에 Fig.4(c)에서는 이송방향으로 버가 눌혀져 있음을 통하여 더 강력한 이송방향 절삭력이 작용하였음을 알 수 있다. 이를 통하여 브러시 디버링에 의해 이송 방향의 버도 제거할 수 있다는 가능성과 함께 덧살 형태의 버를 제거하기 위해 브러시의 강성이 증가하여야 된다는 사실을 확인할 수 있었다. 연마제를 입힌 나일론 브러시에서 강성을 보강한 연마제 함유 브러시를 사용하여 이송 방향의 버를 타격하여 눌린 것은 브러시의 강성 증가

를 통해 이송 방향의 버를 제거할 수 있다는 것이다. 즉, 회전 방향에서는 브러시의 회전의 영향이 디버링에 가장 큰 영향을 미치는 인자라면 이송 방향에서는 브러시 자체의 강성이 가장 큰 영향을 미치는 것을 확인할 수 있다.

3. 브러시 디버링 공정 변화에 따른 디버링 효과

앞선 실험 결과를 통하여 브러시를 이용한 디버링을 위해서는 브러시 자체의 강성 증가와 그에 적합한 공정 조건이 필요하다는 결론을 얻을 수 있었다. 따라서 다양한 강성을 보유한 연마제 함유 브러시와 다양한 공정 조건을 적용하여 최적의 디버링 효과를 이끌어 낼 수 있는 디버링 공정 조건을 찾고자 하였다.

현재 회전 방향에 발생한 버(Fig.4(a)에서 지점 1과3에 발생한 버)의 제거는 브러시의 회전운동의 영향으로 디버링이 잘 이루어지고 있으나 이송 방향(Fig.4(a)에서 지점 2에 발생한 버)에서는 덧살 형태의 버가 발생하여 제거에 매우 어려움을 겪고 있다. 따라서 실험 조건에서 이송 방향의 버를 제거하는데 초점을 두고 진행하였다. 실제 공정 조건과 동일하게 유지하기 위하여 공정 타임을 모두 같게 하여 진행하였다. 또한 실질적인 결과를 위하여 실제 알미늄 합금으로 제작된 변속기 밸브바디에 실험을 진행하였다.

3.1 브러시 디버링 실험 조건

선행된 연마제 함유 브러시보다 강성을 더욱 증가시키기 위하여 필라멘트의 직경을 0.3mm에서 0.46mm 이상으로 증가시키고 이송 속도는 좋은 결과를 나타내었던 1000mm/min을 유지하였다. 하지만 실험 방법을 달리함으로써 이송방향에 대한 디버링 효과를 다르게 적용시키고자 했다. 연마제 함유 나일론의 직경의 크기는 Table 2와 Fig.5에 나타난 대로 3 종류를 적용하였고 소재는 전부 동일하게 연마제 함유 나일론 브러시를 사용했으며 실험 방법도 Table 3에 기술된 바와 같이 3 단계로 나누어 이송

Table 2 Specification of the abrasive embedded nylon brush and deburring conditions

brush (diameter, mm)	abrasive (grit size)	filament diameter (mm)	rpm/feed (mm/min)
filament 1 (15)	alumina (240)	0.46	3000/1000
filament 2 (15)	alumina (240)	0.56	
filament 3 (15)	alumina (240)	0.60	

Table 3 Description of the brushing processes

Process (Feed rate)	Detail description of the process
Process 1 (1000mm/min)	In_CW (1sec)/ Stay_CW (3sec)/ Stay_CCW (3sec)/ Out_CCW (1sec)
Process 2 (1000mm/min)	In_CW (1)/ Stay_CW (2)/ Out_CW (1)/ In_CCW(1)/ Stay_CCW (2)/ Out_CCW (1)
Process 3 (1000mm/min)	In_CW (1)/ Out_CW (1)/ In_CCW (1)/Out_CCW (1) 2 times
Process 4 (2000mm/min)	In_CW (0.5)/ Out_CW (0.5)/ In_CCW (0.5)/Out_CCW (0.5) 4 times

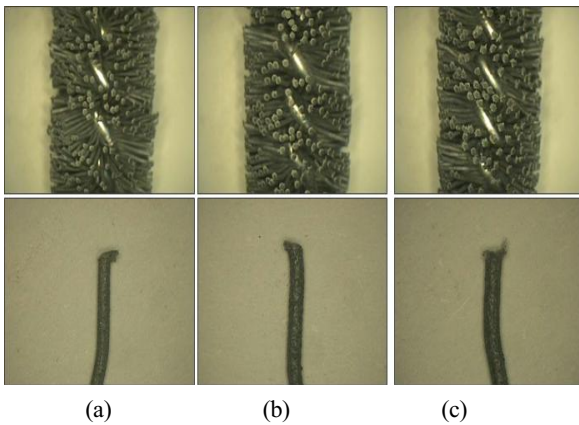


Fig. 5 Configuration of the abrasive embedded nylon brush with filament diameter (a) 0.46mm (b) 0.56mm (c) 0.60mm

방향에 대한 영향을 달리 하였다. 공정 시간은 8초로 제한하여 동일한 시간에 수행된 디버링 결과를 비교하였다. 실제 변속기 밸브 바디의 직경 15mm 구멍에 설치된 윈도우에 발생한 버를 효율적으로 제거하고자 한다. 사용된 피삭재는 Fig.6과 같은 형상의 실제 변속기 밸브 바디에 적용하였으며 실험 후 절개 단면을 이용하여 시험결과를 평가하였다. 브러시를 이용한 버제거 실험 결과를 평가하기 위하여 모서리부 형상을 정량적으로 측정하는 것이 필요한데 이에 대한 적절한 측정이 어려워 육안으로 모서리부의 가공 상태를 평가하였다.

Process 1은 시계 방향으로 1초 동안 진입(In_CW)한 후 그 상태에서 3초간 시계방향으로 회전하면서 대기(Stay_CW)하고 나서 반시계 방향으로 회전하면서 3초간 대기(Stay_CCW), 그리고 나서 반시계 방향으로 회전하면서 1초 동안에 진출하는 방법(Out_CCW)으로 가장 많은 시간을 변속기 내에서 회전 운동을 적용하는 방법이다. 하지만 이송 방향의 움직임은 극히 제한된다. Process 2는 회전 대기 시간을 4초간으로 짧게 하고 이송시간을 4초로 함으로써 이송방향으로의 움직임이 process 1에 비하여 활발하게 된다. Process 3은 변속기 내에서 대기하지 않고 지속적으로 회전 방향을 바꾸며 2회 왕복하게 된다. Process 4는 process 3에 비하여 이송속도를 2배함으로써 전 공정을 2회에서 4회 반복운동을 가능하게 함으로써 이송운동에 의한 디버링 효과를 극대화하려하였다. 모든 실험은 8초라는 공정시간 안에서 적용되었으며 이송 방향으로의 움직임과 대기 시간에서 차이를 보이게 된다.

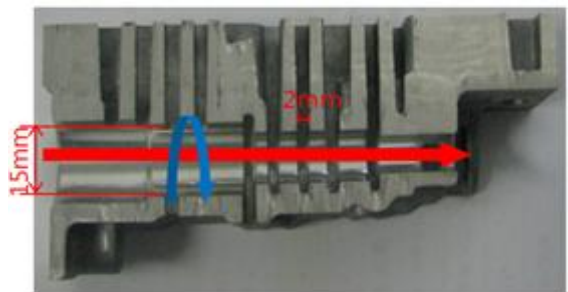
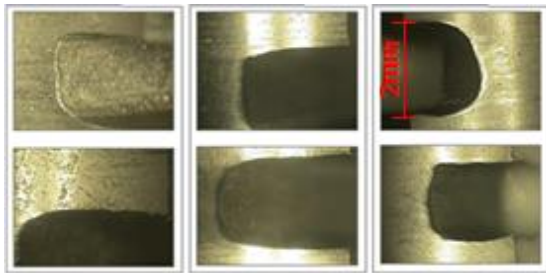


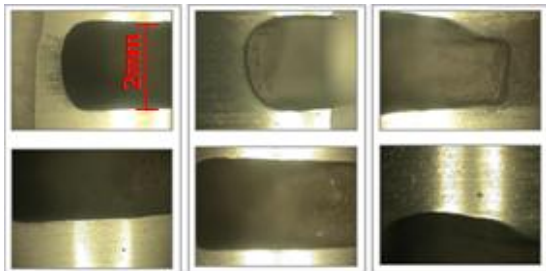
Fig. 6 Cross section of transmission valve body and the direction of brushing operation

3.2 브러시 디버링 실험 결과

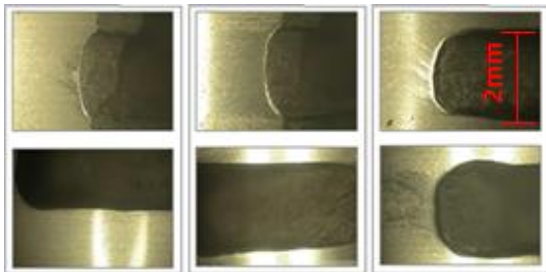
Fig.7에서는 process 1에 의한 디버링 결과를 나타내고 있다. 각 브러시의 경우에 대하여 위 사진은 회전방향의 모서리 가공 결과를 나타내고 아래 사진은 주로 이송방향에 수직한 원도우의 모서리 가공 결과를 나타내고 있다. 그 결과를 살펴보면 대체로 회전 방향에서의 과절삭을 발견할 수 있다. 브러시의 움직임이 회전하는 상태로 밸브 바디 안에 6초간 대기함으로써 회전 방향의 절삭력이 극대



(a) filament 1 b) filament 2 c) filament 3
Fig. 7 Edge configurations as a result by process 1



(a) filament 1 (b) filament 2 (c) filament 3
Fig. 8 Edge configurations as a result by process 2



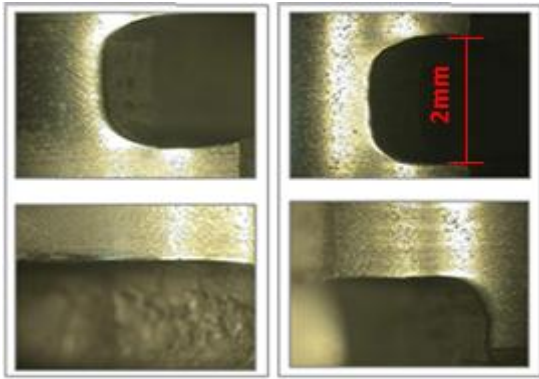
(a) filament 1 (b) filament 2 (c) filament 3
Fig. 9 Edge configurations as a result by process 3

화되어 더욱 활발한 것을 알 수 있다.

또한 브러시의 강성이 큰 filament 3 경우 (Fig.7(c))에 회전방향으로 가장 큰 과절삭이 발생함을 알 수 있다. 하지만 문제 시 되는 이송 방향에서의 디버링 효과는 미비한 것으로 판단된다. 이것은 이송방향의 운동이 2초만 주어졌기 때문에 충분한 이송방향 절삭이 일어나기에 불충분하였다고 본다. 이러한 이유로 인하여 밸브 바디 안에서의 회전운동 시간을 줄이고 이송운동에 더 많은 시간을 할애하도록 process 2와 3을 계획하였다.

Process 2는 process 1에 비해서 이송 방향으로의 이동 시간이 증가함에 따라 이송방향에 수직으로 발생한 버의 제거에 매우 효율적이어서 회전 방향과 이송 방향 모두에서 디버링 효과가 나타나는 것을 알 수 있다. 회전하면서 대기하는 시간이 4초간, 이송운동도 4초간 수행하였다. 이로 인하여 회전 방향의 모서리부 가공이 실험 방법 1에 비해서 감소한 것을 Fig.8로부터 확인 할 수 있다. 즉, 이송 방향으로 움직이는 시간이 증가함으로써 회전 방향으로 편중되어 있던 절삭량이 이송 방향으로 분배되어 회전과 이송 방향 모두에서 디버링 효과가 나타나는 것을 확인할 수 있다. 그러나 그 중에서도 filament 3의 경우, Fig.8(c)에서 보는 바와 같이 회전방향과 이송방향 가공이 가장 활발하게 나타남을 알 수 있다.

Process 3은 가장 이송 방향의 움직임이 활발한 실험 방법이었다. 정지한 시간이 없이 8초간 모두 이송운동에 할애되었다. 시계방향 회전 중에 진입과 진출 그리고 반시계방향 회전 중에 진입과 진출이 각각 2회씩 진행되었다. 회전방향 운동은 이송운동 중에 동시에 짧은 시간 동안 진행이 되었다. Fig.9에서 보는 바와 같이 회전 방향의 과절삭이 감소하고 이송 방향의 절삭력이 증가하여 실험 방법 중 가장 이상적인 형태를 보인다. 이송 방향의 움직임과 적용 횟수가 증가하여 process 1과 2에 비하여 절삭력을 회전, 이송 방향으로 적절히 분배함으로써 최적의 디버링 결과가 나온 것을 확인할 수 있었다. 그 중에서도 filament 1,2 그리고 3의 강성 차이로 인하여 모서리부 절삭의 정도를 조절할 수 있음을 알 수 있다.



(a) filament 1 (b) filament 2

Fig. 10 Edge configurations as a result by process 4

이러한 결과를 바탕으로 이송 방향의 움직임은 더욱 강조하기 위하여 이송 방향의 이송속도를 기존에 적용하던 1000 mm/min 로부터 2000 mm/min 으로 증가시키고 적용 횟수를 증가하여 2회에서 4 회의 왕복 운동을 하도록 실험 조건을 설정 하였다. 그리고 filament 직경 0.6mm의 경우 회전 방향에서의 과도한 절삭으로 인해 본 실험에서는 제외 하였다. 과절삭이 일어날 경우 유압 제품에서의 기밀성이 상실되고 그 결과 유압을 정확히 형성하지 못해 제어 능력이 상실된다. 따라서 계속해서 과절삭을 보여준 0.6mm의 직경을 가진 filament 3는 실험에서 제외하였다.

Fig.10에서 그 결과를 보면 가장 심각한 문제가 발생하던 윈도우의 이송방향에 수직한 모서리에서 바람직한 절삭의 영향을 나타내는 것을 확인할 수 있다. 즉, 회전 방향과 이송 방향의 절삭력이 가장 적절하게 분배되었고 강성이 유지된 상태에서의 이송 방향 움직임 증가를 통해 최적의 브러시 디버링 공정 조건을 확인할 수 있었다. 그렇지만 너무 빠른 이송운동은 오히려 이송방향으로의 절삭시간을 줄이는 효과도 있기 때문에 적정 이송속도를 찾는 것이 중요하다.

지금까지의 윈도우에서 이송방향에 수직한 모서리에서의 효율적인 버제거를 위하여 연마제를 입힌 나일론 브러시로부터 연마제 함유 나일론 브러시의 높은 강성으로 이송방향의 절삭을 증가시킴으로서 회전방향과 이송방향에 발생한 버의 효율적인 제거

를 수행할 수 있음을 증명하였다. 또한 0.3mm의 필라멘트 직경을 0.46mm이상으로 키워 강성을 확보 함으로써 이송방향에 대한 절삭력을 증대시켰다. 이송방향 절삭을 증가시키기 위하여 브러시의 진입과 진출의 횟수를 증가시키고 이송속도를 조절함으로써 이송운동에 의한 이송방향 절삭을 조절 할 수 있음을 입증하였다. 이상을 종합하면 기존에 회전 방향으로 집중되어 있던 브러시 디버링 공정을 연마제 함유 브러시의 직경을 조절하고 이송운동 방법을 조절함으로써 윈도우의 모든 모서리에 대해서 원하는 모서리 형상을 위한 디버링 능력을 발휘하도록 유도하였다.

4. 벨브바디 전용 디버링 브러시 설계 제안

앞에서 분석한 브러시 디버링 실험 결과를 보면 이송 방향의 버를 제거하기 위해서 브러시의 나일론 필라멘트의 직경을 조절하여 강성을 강화하고 이송 운동량을 조절하여 윈도우 부분의 모서리 형상을 제어할 수 있었다. 하지만 실제 변속기는 외경이 감소하는 형태를 가지게 되어 직경 감소에 따라 브러시 디버링의 결과도 다르게 나타나는 것을 확인할 수 있었다.

Fig.11에서 실제 변속기 벨브 바디를 위한 디버링 결과를 살펴보면 깊어질수록 직경이 감소함을 알 수 있다. Fig.11에 나타나 있는 윈도우의 모서리부에 발생한 버제거와 에지 모양을 형성하기 위하여 Fig.12와 같은 외경이 단계적으로 감소하는 형상의 브러시를 사용하고 있다. 이 경우 동일한 기준으로 설계하였을 경우에, 즉 벨브 바디의 내경과 브러시의 외경의 차이를 균일하게 하였을 경우에는 Fig.11의 디버링 결과와 같이 작은 직경의 필라멘트를 보유한 브러시에서 과절삭이 증가하는 것을 Fig.11에 나타난 벨브 바디 단면 형성으로부터 관찰할 수 있다. 따라서 이러한 영향을 파악하기 위해 주어진 형상의 빔을 δ 만큼 변형시키기 위하여 필요한 힘을 나타내는 관계식을 다음과 같이 나타낼 수 있다. 여기서 E 는 탄성 계수를 나타내고 I 는 빔의 단

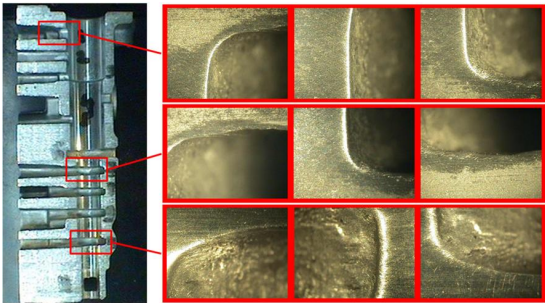


Fig. 11 Result of deburring process for transmission valve body which shows the over cutting when diameter decrease

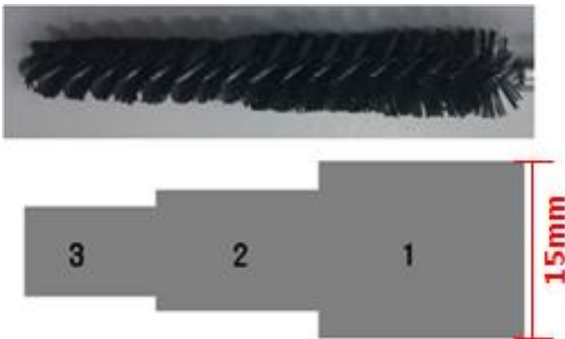


Fig. 12 Brush for deburring of transmission valve body

면 이차 모멘트를 나타내며, L 은 빔의 길이를 나타낸다. 나일론 필라멘트가 주어지면 E 와 I 는 정해지며 벨브 바디 형상으로부터 적용되는 필라멘트 길이, L , 도 주어짐을 알 수 있다.

$$F = \frac{3\delta EI}{L^3} \quad (1)$$

이를 통하여 필라멘트 길이의 3제곱에 반비례하여 절삭력이 결정됨을 알 수 있다. Fig.11 형상의 벨브 바디 가공을 위하여 Fig.12.과 같은 브러시 형상을 적용하게 되면 필라멘트의 길이가 짧아질수록 작용하는 절삭력, F , 가 과도하게 작용하게 됨을 알 수 있다. 이 결과 Fig.11에서 가장 필라멘트의 길이가 짧은 경우(Fig.12의 3번 브러시, 맨 아래쪽의 윈도우)에 1과 2번 브러시에 비하여 과절삭이 발생하였음을 알 수 있다.

이러한 문제점을 해결하기 위해서는 Fig.12에 나타있는 브러시의 각 부분의 소재, 즉 연마재 함유량과 나일론의 강성, 또는 필라멘트의 길이와 직경을 달리하여 강성을 조절함으로써 회전방향과 이송방향의 절삭력을 제어할 수 있도록 하여야 한다. 실질적인 적용을 고려한다면 사용하는 브러시의 필라멘트 소재가 동일하고 필라멘트의 길이는 벨브 바디의 각 부분 1,2,3에서의 길이가 주어져 있기 때문에 실제로 조절 할 수 있는 요소는 필라멘트의 직경을 조절함으로써 적정 강성을 유지하도록 설계할 수 있게 된다. 그러나 동일한 브러시 공구에서 부위별로 다른 직경의 필라멘트를 제작하는 것이 생산원가의 상승을 초래하기 때문에 또한 제한이 된다고 볼 수 있다.

5. 결론

이번 연구에서는 벨브바디 디버링을 위해 연마재 함유 나일론 브러시를 이용하여 변속기 벨브 바디에서 회전방향 뿐 아니라 이송방향으로 디버링을 효율적으로 수행하기 위한 방법을 연구하였다. 벨브바디의 경우 윈도우와 같은 특수한 형태 때문에 일반적인 디버링 공구의 한계가 있어 적용할 수 없었다. 그러나 브러시의 유연한 특성을 이용하여 윈도우 부분에 발생하는 회전방향의 버와 이송방향에 수직한 모서리에 발생한 버의 효율적인 제거를 위한 방법들을 제시하였다.

본 연구에서는 브러시 소재를 연마재를 입힌 나일론 브러시에서 연마재 함유 브러시로 교체하여 필라멘트 자체의 강성을 증대시키고 동시에 이송방향의 운동을 확대하여 윈도우의 모든 모서리에 대해서 적절한 형상으로 가공할 수 있는 방법과 각 요소들의 영향을 분석하였다. 필라멘트의 직경을 변화함으로써 강성의 변화를 가져 왔고 또한 증가된 강성의 필라멘트를 이용하여 이송방향의 운동량을 증가시킴으로서 이송방향에 수직한 모서리의 절삭량을 증가시킬 수 있었다.

후 기

“이 논문은 2016년 경남과학기술대학교 대학회계 연구비 지원에 의하여 연구되었음.”

REFERENCES

1. Park, H. Y., "Experimental study on improvement of deburring tool geometry and process for removing burrs of drill hole," A Thesis for a Master's degree, Konkuk University, Republic of Korea, 2011.
2. Ko, S. L., "Understanding of Burr Technology and It's Trend," Journal of Mechanical Science and Technology, Vol. 146, No. 1, pp. 33-46, 1993.
3. Kim, J. S., "Optimization and control of drilling burr formation of AISI 304L and AISI 4118 based on drilling burr control charts," International journal of machine tools & manufacture, Vol. 41, No. 7, pp. 923-936, 2001.
4. Kang, D. C., "A Study of Deburring using Electro-Chemical Method," Proceedings of the Korean Society for Technology of Plasticity Conference, pp. 217-220, 2001.
5. Jeong, Y. H., "Deburring microfeatures using micro-EDM," Journal of materials processing technology, Vol. 209, No. 14, pp. 5399-5406, 2009.
6. Lee, S. H., D.A.Dornfeld, "Precision laser Deburring," Trans. Asme. J. Manufacturing Science and Engineering, Vol. 123, No. 4, pp. 601-608, 1999.
7. Lee, S. W., "Deburring Technology Using Ultrasonic Vibration for part," in Celebration of the 60th Anniversary Proceedings of the KSME 2005 Spring Annual Meeting, pp. 1500-1503, 2005.
8. An, D. H., "Characteristics according to the deburring method and tip shape in the main hole and intersection hole," Proceedings of KSPE 2013 Spring Conference, Vol. 1, pp. 251-252, 2010.