

휘싱 트래클 릴 프레임홀 면의 디버링특성

Deburring Characteristics of Frame Hole in Fishing Trackle Reel

김정두, 김병현/KAIST 기계공학과, 유지운/유신고무(주), 최해영/(주)화일엔지니어링

Kim Jeong-Du, Kim Byung-Hyun/Dept. of Mechanical Eng., KAIST, Yu Jee-Un/Yu-Sin Rubber, Choi Hea-young/Wha-Il Engineering,

ABSTRACT

Materials of the Frame hole in fishing trackle reel is made up a number large and small holes. Thus, it is difficult to effective machining. Abrasive flow machining(AFM) is useful to polish a internal or external surface of the 3-dimensional shape parts, which are used in many fields such as aerospace, automotive, semi-conductor, and medical component industries. The machining process is that two hydraulic cylinders, which are located face to face, enforce abrasive media to the passage between workpiece and tooling parts alternately, and then the abrasives include in the media psss the passage and polish the surface of workpiece. The media which is made of polymer and abrasives plays the role of the tool for deburring or polishing complex shap workpiece by its viscoelastic characteristics.

In this study, the abrasive media for abrasive flow machining was made by mixing viscielastic polymer with alunina and silicon carbide abrasive. Also, we present AFM device design and preliminary results of an investigation in to some aspects of the AFM process performance in fishing trackle reel.

휘싱 트래클 릴 프레임의 소재는 알루미늄(Al)으로 가공성이 난삭재일 뿐만 아니라 대·소의 다공의 형태로 이루어져 부품의 다공홀 면의 기계가공부위에 발생된 미세 버(Burr)는 제품 성능에 나쁜 영향을 미치게 된다. 특히, 디버링(Deburring) 처리를 수작업에 의한 경우, 가공면의 손상과 생산능율의 저하를 초래하게 된다. 이러한 난삭재나 복잡한 형태의 가공소재의 대한 디버링(Deburring)에 있어서는 일반 기계가공의 방법으로는 효과적인 가공은 거의불가능하고, 제품의 소재 및 형상을 고려한 3차원 가공을 적용하여야 한다.

입자유동가공(Abrasive Flow Machining)은 반고체 상태의 연마입자 미디어를 유동시킴으로서 일반가공으로 불가능한 부분의 곡면과 에지를 디버링(Deburring)하는 효과적인 3차원가공의 방법으로서, 중요한 항공·의료부품에서부터 대형 부품에 이르기까지 광범위한 분야에 응용가능하며, 그 응용범위가 점차 확대되고 있다. 이는 입자유동가공이 여러 개의 구멍(hole), 홈(slot), 끝단(edge) 뿐만 아니라 공구가 접근하기 힘든 부분까지도 단일공정으로 가공할 수 있다는 장점에 기인하고 있다. 특히, 입자유동가공에서 미디어는 연마공구로서 사용되므로 가공결과에 지대한 영향을 끼치게 된다. 즉 미디어의 점도 및 미디어에 사용하는 연마입자의 종류 등에 따라 가공후의 재료의 정밀도가 좌우된다.

본 연구에서는 알루미늄(Al) 소재인 휘싱 트래클 릴 프레임에 대해서 입자유동가공을 적용하여, 다공면으로 이루어진 알루미늄 재료에서의 디버링(Deburring) 특성에 대해 고찰하고자 한다.

1. 서 론

2. 입자유동가공의 원리

입자유동가공에서는 두 개의 맞대고 있는 미디어 실린더가 공작물과 툴링 사이의 틈을 따라 연마입자 미디어를 상하로 반복 유동 시킴으로서 가공이 이루어지게 된다. Fig.1은 입자유동가공의 원리를 나타내고 있다. 두 개의 맞대고 있는 실린더가 공작물과 툴링사이의 틈을 따라 연마입자 미디어를 상하로 반복적으로 유동시킴으로서 가공이 이루어지게 된다. 여기에서 툴링과 공작물사이의 간극을 일정하게 유지하여야만 균일한 가공을 수행할수 있다. 툴링은 가공하고자 하는 부품을 제 위치에 고정시키고 연마입자 미디어를 가공부분에 유도 하도록 통로를 만들어 주는 역할을 한다. 또한, 디버링이나 표면연마 가공의 목적에 따라 적절한 미디어의 점도, 압력, 유량등을 선정해 주어야 한다.

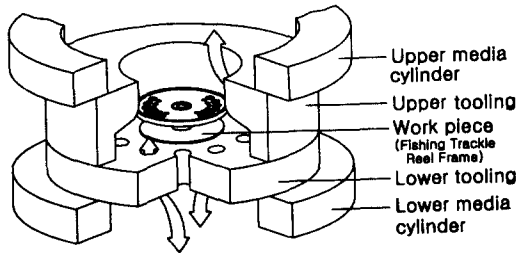


Fig. 1 Abrasive flow machining process

3. 입자유동가공(AFM)에서 재료의 제거율

공작물 표면에 대한 디버링은 abrasive 입자의 충격에 의한 재료의 제거라는 측면에서 또한 설명할 수가 있다. Sarkar와 Pandey에 의해 제안된 재료의 제거율(Q)에 관한 수학적인 계산 모델은 식 (1)과 같다.

$$Q = K_4 N D^3 v^{3/2} \left(\frac{\rho_a}{12 \sigma_y} \right) \quad (1)$$

여기서,

- Q : Volume rate of material removed [$m^3 s^{-1}$]
- K_4 : Constants
- N : Number of abrasive particles taking cut at a time

a : Size of abrasive particle [m]

v : Velocity of abrasive [$m s^{-1}$]

ρ_a : Density of abrasive material [$Kg m^{-3}$]

σ_y : Yield stress of material(workpiece) [Nm^{-2}]

식 (1)를 정리하면 간단히 정리하면 식 (2)와 같이 되고,

$$Q \propto N v^{3/2} \quad (2)$$

식(2)를 1차식으로 근사시키면 다음과 같다.

$$N \propto p \quad (3a)$$

$$v \propto p^{1/2} \quad (3b)$$

여기서 p 는 abrasive flow perssure [$N m^2$]이고, 따라서 식 (4)를 얻을 수 있다.

$$Q \propto p^{1.75} \quad (4)$$

4. 실험장치 및 실험방법

본 연구에서는 휘싱휠 프레임 홀면의 디버링(Deburring)을 위해서 입자유동 가공을 수행하였다. 입자유동가공시스템은 기계본체(main part), 유압장치(hydraulic unit), 제어부(control part) 등의 크게 세 부분으로 구성되어 있다. 본체는 다시 가공물을 클램핑하는 클램프 실린더(clamp cylinder)와 미디어를 가압유동시키는 미디어 실린더(media cylinder), 이들을 지지하는 베이스(base)로 구성된다.

4.1 본체

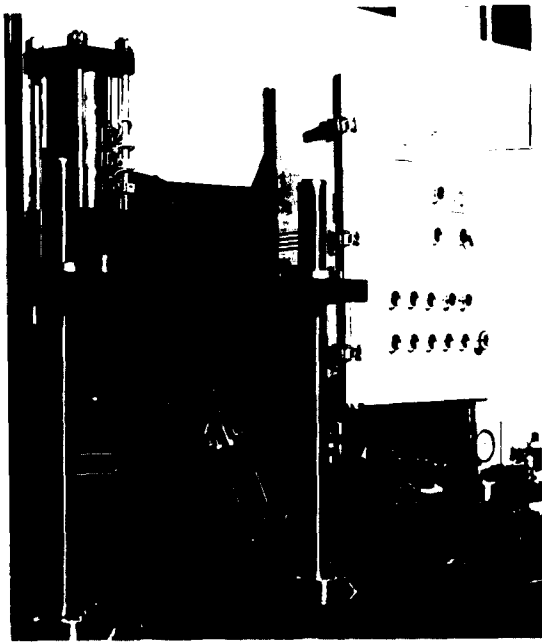
4.1.1 클램프 실린더(Clamp cylinder)

클램프 실린더는 유압실린더에 의해 구동하여 가공물의 고정과 이탈을 하도록하는 부분으로 이것에 의해 시스템의 상부를 상하방향으로 이동시키게 된다. 가공시 미디어 실린더(media cylinder) 내부의 힘을 지탱하여 툴링이 클램프 실린더에 의하여 단단히 고정되도록 한다.

4.1.2 미디어 실린더(Media cylinder)

미디어 실린더는 가장 중요한 부분으로 입자유동가공시 직접적인 가공력을 전달하는 동력원으로서의 역할을 한다. Fig.2에 KAIST에서 설계·제작한 입자유동가공 시스템의 외관과 사양을 나

타내었다.



Part	Specification	
Media cylinder	Hydraulic cylinder	size : Diameter 60~300 mm Stroke 200~600 mm Pressure Range : 100~3200psi Flow Rate : > 380 l/min
Abrasive	Al ₂ O ₃ , SiC	Mesh : #60~80
Media	Viscoelastic Polymer,	abrasive : polymer = 1:1~1:4

Fig. 2 Abrasive flow machining system

4.2 베이스(Base)

베이스는 가공장치 본체를 지탱하는 부분이므로 전체 시스템의 안정성을 고려하여 충분한 강성을 가지도록 설계하였으며 가공시스템의 운반의 용이성, 편의성 등을 고려하였다. 또한 본 연구에서는 베이스 부분에 유압공급용 오일과 윤활 유동을 저장할수 있도록 설계하였다.

4.3 유압장치(hydraulic unit)

유압장치는 미디어 실린더와 클램프 실린더 구동용 유압실린더, 유압실린더의 구동을 위한 유압모터, 유압모터 냉각장치, 압력과 속도조절용 각종 밸브, 미디어 실린더 내 피스톤의 스트로크 조절을 위한 솔레노이드 밸브등으로 구성하였다.

4.4 시스템 제어부(control unit)

시스템 제어부에서는 가공시스템의 압출압력(extrusion pressure)을 제어한다. 본 연구를 통해서 개발한 입자유동가공장치는 380리터 (100 gallons) 이상의 유량에서 7~220 bar의 범위까지 압출압력을 제어할수 있도록 설계하였다.

5. 연마입자 미디어의 설계 및 제작

입자유동 가공에 사용되는 연마입자 미디어는 점탄성을 가진 폴리머 연마입자를 혼합하여 제작한다. 연마입자는 폴리머의 점도와 연마입자의 크기 및 종류에 따라서 성질의 차이를 가진다. 연마입자 미디어를 구성하는 점탄성 폴리머는 주로 실리콘에 사용하며 연마입자는 가공재료에 따라서 알루미나, 실리콘 카바이드 다이아몬드 등을 사용하며 가공정밀도에 따라서 연마입자의 크기를 조절하기도 한다.

연마입자 미디어는 점도에 따라서 유동의 성질이 변하게 되며 이에 따라서 가공되는 형상도 점도에 따라서 차이를 보이게 된다. 즉, 연마입자의 미디어의 점도가 큰 경우에는 미디어의 유동에 속도구배가 점점 없어지므로 가공물 입구부위 모서리의 가공이 거의 없지만 점도가 적은 경우에는 미디어의 유동에 속도 구배가 발생하기 때문에 모서리부위가 가공되는 래디어링(Radiusing)이 이루어 지게 된다.

5.1 입자유동가공(AFM)에서 폴리머의 성질

일반적으로 폴리머의 점도는 분자량에 따라 결정된다. 즉, 연마입자 미디어에 사용되는 실리콘 폴리머의 분자량을 알면 그 점도를 추정할수 있다. 폴리머의 분자량과 점도사이의 관계식은 식

(5)와 같다.

$$\mu = KM^a \quad (5)$$

여기서, μ : Viscosity of Polymer

M : Molecular Weight

K, a : Constants

연마입자 미디어를 구성하는 폴리머는 온도의 변화에 따라서 그 점도가 변화한다. 폴리머의 온도에 따른 점도의 변화는 다음 식으로 결정된다.

$$\mu = ae^{bT} \quad (6)$$

여기서, T : Absolute Temperature

a, b : Constants

식(6)에서 나타난 것과 같이 연마입자 미디어의 점도가 온도변화에 민감하므로 가공시간이 많이 필요한 경우 온도의 변화가 심하므로 온도에 의한 연마입자 미디어의 점도변화를 고려해야 한다.

Benbow와 Lamb은 벽에 미치는 폴리머의 저항력에 대해서 다음과 같이 정의를 하였다.

폴리머의 벽에 미치는 저항력은 폴리머의 분자량과 전단응력에 비례한다. 즉,

$$F_D = C \cdot M \cdot \tau \quad (7)$$

여기서, F_D : Drag on Polymer molecule

M : Molecular Weight

τ : Shear Stress

C : Constant

벽에 미치는 저항력의 크기가 크면 그만큼 미디어의 폴리머가 입자에 미치는 힘이 그만큼 크다는 것을 말한다. 여기서, 전단응력은 폴리머의 점도에 비례하므로 점도가 크면 폴리머가 입자에 미치는 힘이 크고 즉, 가공력이 크다는 것을 알 수 있다.

5.2 연마입자 미디어의 제작공정

본 연구에서 개발된 미디어에 사용되는 실리콘 폴리머는 화학적으로 매우복잡하고 분자량이 매우 높은 가소성 수지이다. 제작공정을 살펴보면, ① 고체상태의 실리콘 수지 원재료와 연화제 등을 탱크에 채우는 배합준비공정, ② 원재료를 믹서에 넣고 혼합하는 혼합공정, ③ 최종적으로 원하는 물성치를 얻기 위한 재혼합공정 등으로 나뉜다.

5.3 연마입자의 특성

본 연구에서는 실리콘 카바이드와 알루미늄산화물 입자를 이용해서 미디어를 제작하였다. 두 연마입자의 특성을 살펴보면 실리콘 카바이드가 알루미늄산화물에 비해서 경한 특성을 보이는데, 실리콘 카바이드 입자는 주철, 알루미늄, 황동, 청동을 연마하는데 주로 적용하며, 알루미늄산화물 입자는 탄소강, 특수강, 고속도강, 특수청동을 연마하는데 적용한다. Table 1은 두 종류의 연마입자의 특성을 나타낸다.

Table 1 Characteristics and applications of aluminum oxide and silicon carbide abrasives

Abrasive	Characteristics	Application
Silicon carbide (SiC)	Hardness : 9.5	Cast iron, Aluminum, Brass, Bronze
Alumina (Al ₂ O ₃)	Hardness : 9	Carbon steel, Special steel, High speed steel, Special bronze

Table 2 Characteristics abrasive media

polymer (Viscosity)	Silicon carbide (SiC)
LV (low viscosity) (1900 mPa · s)	Weight percent ratio (abrasive : polymer) = 1 : 1
MV (medium viscosity) (2400 mPa · s)	
HV (High viscosity) (2900 mPa · s)	

5.4 연마입자 미디어의 점도

미디어는 점도에 따라서 저점도(LV:Low

Viscosity), 중점도(MV:Medium Viscosity), 고점도(HV:High Viscosity)의 3종류를 사용하였으며 입자유동가공을 수행하였다.

6. 실험결과 및 고찰

본 연구에서는 5.4에서 이미 언급한대로 가공 조건은 연마입자 미디어의 점도에 따라 저점도(Low Viscosity), 중점도(Medium Viscosity), 고점도(High Viscosity)의 세 가지로 나누고 미디어 실린더의 압출압력을 300 psi로하여 실험을 수행하였다.

Fig.3는 입자유동가공 실험을 수행하여 미디어의 점도에 따른 표면거칠기의 변화량을 나타내고 있고, Fig.4는 미디어의 점도에 따른 재료 제거량의 변화를 나타내고 있다. 또한 본 실험에서 사용한 공작물인 휘싱트래클 릴 프레임은 재질이 Al인 관계로 제품의 품질과 관련해서 가공후의 광택도에 대해서 고려를 하여야만 한다. 그래서 본 연구에서는 가공에 의해 원재료가 가지고 있는 광택을 어느정도 보존하는가에 대해서 미디어의 점도에 따라 또한 다른 가공(자기연마)과의 비교 실험을 수행하였고 그 결과를 Fig.5에 나타내었다.

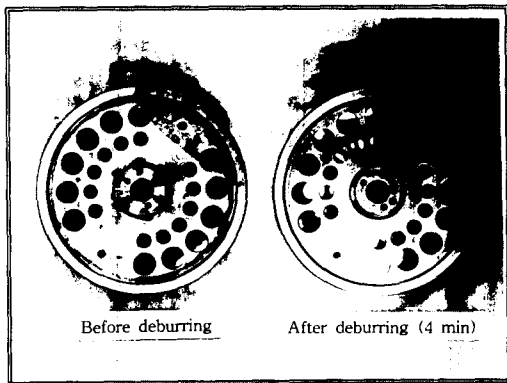


Photo. 1 Fishing trackle reel frame

Photo.1은 가공전과 가공후의 휘싱릴 트래클 릴의 사진이다.

Photo.2는 입자유동가공(AFM)에 의해 가공된 현미경 사진이다. 본 연구에서는 휘싱 트래클 릴

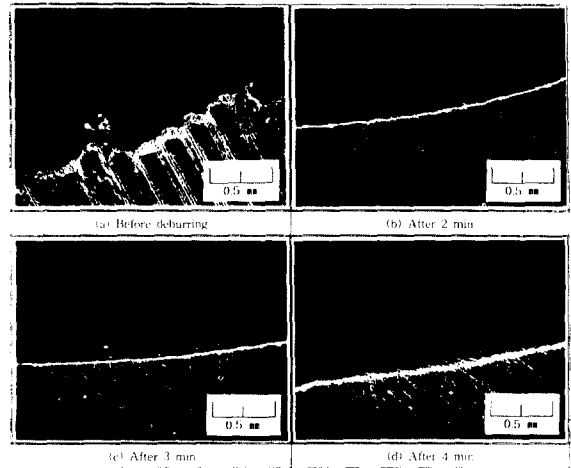


Photo. 2 Observation of burr according to elapsed machining time ($\times 500$, SiC MV #80)

프레임 홀에 대해서 입자유동 가공을 수행하였다. 입자유동가공전 (a)와 가공후의 현미경 사진인 (b), (c), (d)를 통해서 공작물에 존재하는 버(burr)의 제거와 더불어 공작물 표면의 개선 및 라운딩(rounding)이 진행되고 있음을 확인할 수 있다. Fig.3는 미디어점도에 따른 재료의 제거량을 나타내고 있고, Fig.4에서는 미디어의 점도와 표면 거칠기와의 관계를 나타내고 있다.

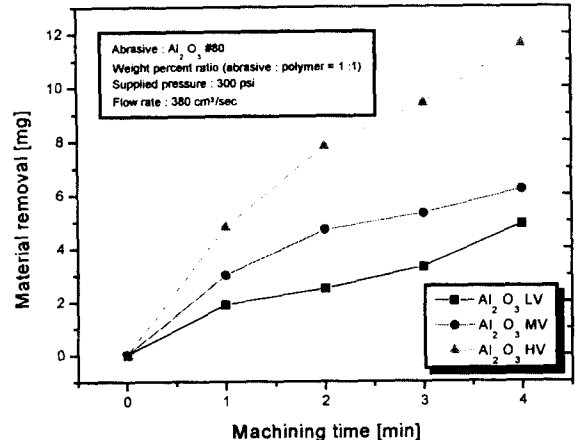


Fig. 3 Relationship between material removal and media viscosity

또한 Fig.5에서는 입자유동가공 전과 가공후, 3차원 형상가공에 유용한 것으로 알려진 자기연마 가공과의 가공후 광택도를 비교하고 있다.

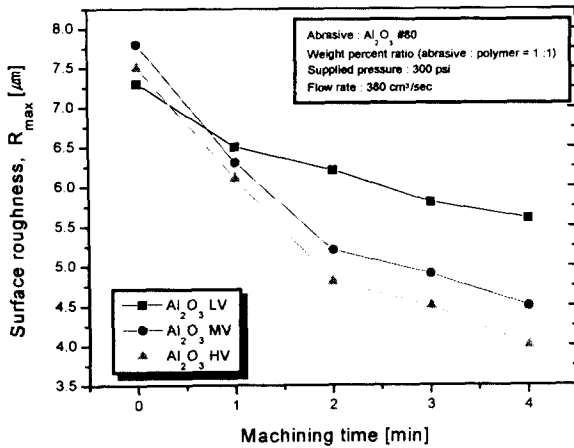


Fig. 4 Relationship between surface roughness and media viscosity

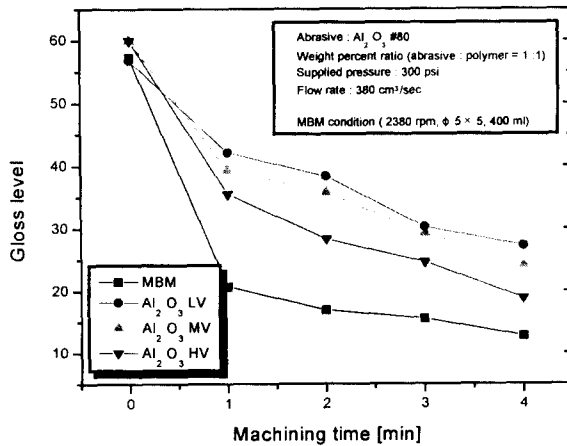


Fig. 5 Relationship between gloss level and media viscosity

Table 3 Properties of abrasive media

Ppolymer (Viscosity)	Properties
1900 mPa · s (LV)	Material removal (Low) Surface roughness (Excellent) Gloss level (High)
2400 mPa · s (MV)	Material removal (Medium) Surface roughness (Medium) Gloss level (High)
2900 mPa · s (HV)	Material removal (High) Surface roughness (Excellent) Gloss level (High)
3200 mPa · s	Destruction Surface roughness (Excellent) Gloss level (High)
4000 mPa · s	Destruction Surface roughness (Excellent) Gloss level (High)

Table 3 은 점도에 따른 디버링 특성을 정리한 것이다.

7. 결론

취싱 트레이클 릴 프레임 홀에 대한 디버링 특성에 대해 연구한 결과는 다음과 같다.

1) 재료제거량의 경우 압력에 의한 변화보다는 미디어 점도에 의하여 더 크게 영향을 받을 수 있음을 알았다.

2) 고점도(HV)의 미디어의 경우 표면거칠기의 개선율이 중점도(MV) 및 저점도(LV) 미디어에 비해 우수함을 알 수 있었다.

3) 가공후 공작물의 광택도는 중·고(M-HV) 점도의 미디어에서 보다는 저점도(LV)의 미디어에서 보다 우수함을 알 수 있었다.

참고 문헌

1. Rhoades, L. J., 1988, "Abrasive Flow Machining," Manufacturing Engineering, Nov., pp. 75-78
2. Fletcher, A. J., Hull, J B., Mackie, J., and Tr engove, S. A., 1990, "Computer Modelling of Abrasive Flow Machining Process," Proceedings of the International Conference on Surface Engineering: Current Trends and Future Prospects, Toronto, Ontario, Canada, June. p p. 592-601
3. Benedict, G. F. 1987, Non-traditional Manufacturing Processes, Marcel Dekker Inc., New York, pp. 53-65
4. Rhoades, L. J., 1989, "Abrasive Flow Machining," SME Technical Paper, MR89-145
5. Williams, R. E., 1989, "Metal Removal and Surface Finish Characteristics in Abrasive Flow Machining," M.S.. Thesis, University of Nebraska-Lincoln