

입자유동시스템에 의한 스프링콜릿 버의 디버링 효과

Effect on the Deburring of Spring Collet Burr by Abrasive Flow System

*김 정 두, 육 인 수 / 한국과학기술원

*Jeong-Du Kim, In-Soo Yook / KAIST

양 동 회, 전 흥 일 / (주) 일산정공

Dong-Hee Yang, Heung-Il Jun / ILL SAN Co. Ltd.,

Abstract

Abrasive flow machining is useful to abrasive polish a internal or external surface of the free shape dimensional parts, which are used in many fields such as machine tool parts, semi-conductor, and medical component industries. The machining process is that two hydraulic cylinders, which are located surface to surface, are enforce media to the passage between workpiece and tooling part alternately, and then the abrasives included in the media pass the passage and polish the surface of workpiece. The media which is made of polymer and abrasive plays complex shape workpieces by its viscoelastic characteristics.

In this study, the media for AMF was made by mixing viscoelastic polymer with alumina and silicon carbide abrasive respectively. As a result, alumina include media is also the experiments of deburring the inside burr of in order to analyse the deburring machinability of abrasive flow machining according to various machining parameters which were media flow rate extrusion pressure, passage gap, media viscosity, abrasive content, and abrasive grain size.

1. 서론

스프링콜릿(Spring collet)은 내외경의 흔들림 정도가 $5\mu\text{m}$ 로 정밀도를 요구할뿐만 아니라, 구조특성상 크로스 홈형태로 되어 콜릿내경의 버(Burr)가

극심하게 나타나고 있다.

대소 내경에 발생된 미세버는 제품특성에 나쁜 영향을 미치게 되며, 특히 디버링처리를 수작업에 의할 경우, 가공면의 손상과 생산능률의 저하를 초래하게 된다. 스프링콜릿과 같은 난삭형태의 디버링에 있어서는 일반기계가공의 효과적인 제거는 거의 불가능하며, 2차버에 대한 문제가 발생한다. 입자유동가공의 연마입자 미디어는 실리콘폴리머에 연마입자를 혼합하여 개발한 것으로서, 미세홈 및 내부에 유동시킴으로서 에지(edge) 및 버에대한 효과적인 제거가 가능하다.

본 연구에서는 크롬-모리브덴강 소재인 스프링콜릿에 대하여 입자유동가공을 적용하고, 미세홈으로 이루어진 크로스홈면의 디버링특성에 대하여 분석하고 고찰하였다.

2. 스프링콜릿 지그설계 및 미디어점도

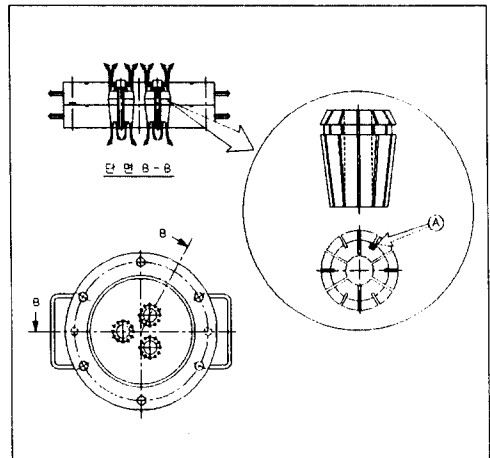


Fig 1 Jig for Spring Collet

Fig 1은 스프링콜릿용 지그내에 있는 입자유동방향을 나타내고 있으며, 공작물과 툴링사이의 틈을 따라 연마입자미디어를 상하 반복적으로 유동시킴으로써 디버링이 이루어진다. 여기에서 툴링과 공작물사이의 간극을 일정하게 유지하여야만 균일한 미디어의 공급과 압력이 유지되어, 공작물의 치수변형없이 디버링이 수행하게된다. 툴링은 가공하고자하는 부품을 정위치에 고정시키고, 연마입자 미디어를 가공부분에 유도되도록 통로를 만들어주는 역할을 한다. 이때 표면연마 또는 디버링의 목적에 따라 유효한 미디어의 점도, 압력 등을 결정한다.

스프링콜릿 내부에대한 디버링은 미디어입자의 충격에 의한 재료제거라는 원리로 분석되며, 재료제거율(Romoral Rate) R은 다음과 같이 계산된다.

$$R = kN D^3 \mu^{\frac{3}{2}} \left(\frac{\rho_a}{12\rho_y} \right) \text{----- (1)}$$

여기서

k : constant

N : Number of abrasive particles taking cut at a time

D : Diameter of Inner Hole Diameter(mm)

μ : Velocity of media(ms^{-1})

ρ_a : Density of media(kgm^{-3})

ρ_y : Yield stress of workpiece material(Nm^{-2})

일 때, 재료제거율은 정리하면 $R \propto N v^{\frac{3}{2}}$ 이 되고, 여기서 Abrasive flow pressure (Nm^{-2})를 p 라 할 때 $R \propto p^{1.75}$ 가 된다.

일반적으로 미디어의 점도는 분자량에 따라 결정되며, 연마입자미디어에 사용되는 실리콘미디어의 분자량을 알면 점도를 추정할 수 있다. 미디어의 분자량과 점도사이의 관계식은 다음과 같다.

$$\mu = K M^a \text{----- (2)}$$

여기에서 K, a : constant

M : Molecular weight

입자유동시스템에 사용되는 실리콘미디어의 점도는 분자량의 크기에따라 $10^{-1} \sim 10^4$ Nsec/ m^2 으로 추정된다. 연마입자미디어는 온도의 변화에

따라서 점도가 변화하게된다. 이상에서 살펴본바와 같이 미디어는 온도변화에 민감하므로 디버링시간이 많이 소요될 경우 온도에 따른 미디어점도의 변화를 고려하여야 한다. 또한 스프링콜릿의 표면에 미치는 저항력은 미디어의 분자량과 전단응력에 비례하며, 내면에 미치는 저항력의 크기가 크면, 그만큼 미디어의 입자에 미치는 힘이 크다는 것을 의미하고, 이것은 제거율이 크다는 것을 말한다. 여기서 전단응력은 미디어의 점도에 비례하므로 점도가 크면 미디어 입자에 미치는 힘이크고, 디버링 제거율이 크다는 것을 알 수 있다.

3. 실험장치 및 실험방법

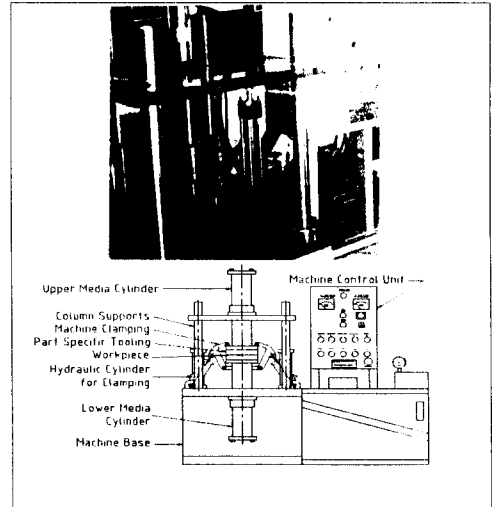


Fig 2 Abrasive Flow Machine System

Fig 2는 스프링콜릿 디버링용으로 사용된 입자유동가공 시스템이며 기계본체, 유압장치 및 제어부로 설계제작하였다. 본체는 클램프실린더, 미디어실린더, 유압장치 및 시스템제어부로 구성하였다. 클램프실린더는 유압실린더에의하여 구동되며, 스프링콜릿의 고정과 이탈을 하는 부분으로 시스템의 상부를 상하방향으로 운동된다. 디버링가공중 미디어실린더 내부의 가공력을 지탱하여 툴링이 클램프실린더에 의하여 고정된다. 미디어실린더는 입자유동의 직접적인 가공력을 전달하는 동력원이다. 유압장치는 미디어실린더와 클램프실린더 구동용 유압실린더, 유압모터 냉각장치, 압력과 속도조절용

벨브, 미디어실린더 내의 피스톤의 스트로크 조절을 위한 솔레노이드벨브로 구성하였다. 시스템제어부는 미디어의 압출압력(Extrusion pressure)을 제어하며, 본 연구에서 개발된 입자유동가공 시스템은 380리터(100gallons)이상의 유량에서 7 ~ 220bar의 범위까지 압출압력을 제어할 수 있도록 설계하였다.

Table 1 Characteristics and Application of Media

Abrasive	Silicon Carbide (SiC)	Alumina (Al ₂ O ₃)
Viscosity		
Low Viscosity(LV) (1900 mPa · s)	Hardness : 9.5	Hardness : 9
Medium Viscosity(MV) (2400 mPa · s)	Weight percent ratio (Abrasive(1) : polymer(1))	Weight percent ratio (Abrasive(1) : polymer(1))
High Viscosity(HV) (2900 mPa · s)	Mesh : 80#	Mesh : 80#

Table 1은 개발된 미디어로서 실리콘폴리머는 화학적으로 분자량이 매우높은 가소성 수지이다. 개발공정은 고체상태의 실리콘수지 재료와 연화제를 혼합하는 혼합공정, 원하는 물성치를 얻기위한 재료혼합공정으로 이루어진다. 본 연구에서는 실리콘카바이드와 알루미늄나연마입자를 이용하여 미디어를 제작하였다.

4. 실험결과 및 고찰

Fig 3은 기계가공 완료된 스프링콜릿의 단면절단상태로 본 버진류현상이다. 버 분석결과 양측면에는 0.5mm 내외의 크기와 저 단면부는 말림버가 형성되었음을 알 수 있다. 이러한 형태의 버는 SCM강을 기계가공할 경우 남는 부분으로 버 크기의 대소 차이는 있겠으나, 어느 질삭경우라도 버 발생은 생성된다.

Fig 4는 기계가공완료된 스프링콜릿의 외경 홈부분으로 4부분의 현상을 나타낸 것이다. 이부분역시 일반버와 말림버의 현상으로 분석되고 있으며, 특히 절삭이 종료되는 부분의 저단부에 극심한 말림버가 나타나고 있음을 알 수 있다.



Fig 3 Burr Phenomenon of Inside Part

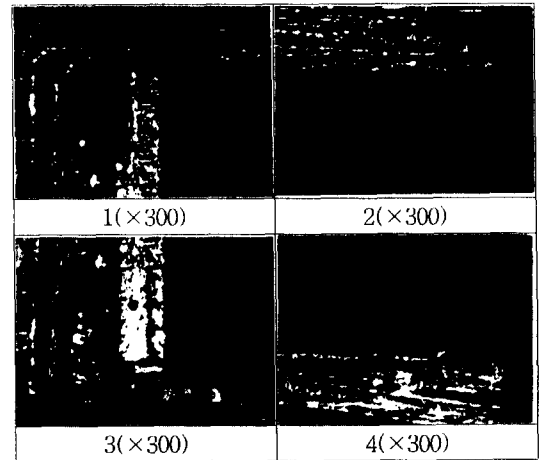
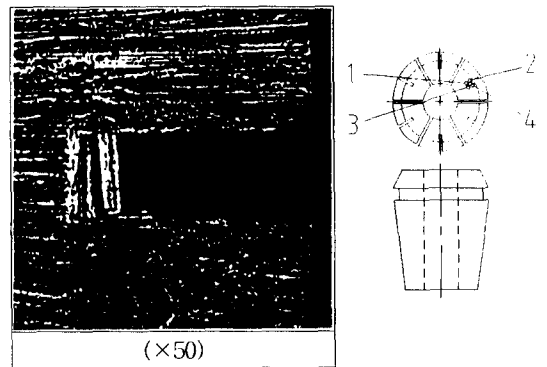


Fig 4 Burr Phenomenon of Inside Parts

Table 2 Results of Burr Removal Rate and Surface Roughness (HV : 2900 mPa · s)

Burr No.		Origin	Deburr	BRR (mm)
		al Burr (mm)	ing Size (mm)	
Top outside	1	0.052	0	0.052
	2	0.060	0	0.060
	3	0.052	0	0.052
	4	0.034	0	0.034
Below outside	5	0.103	0.017	0.086
	6	0.069	0.052	0.017
	7	0.069	0.035	0.034
	8	0.069	0	0.069

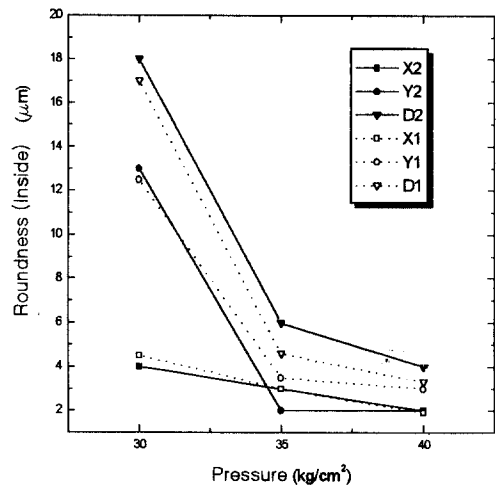
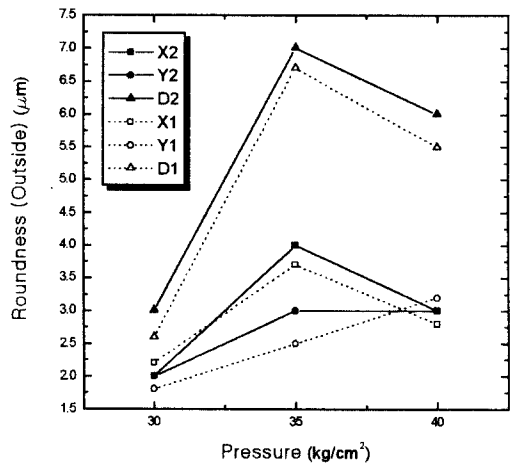
■ Surface Roughness

	Befor Deburring	After Deburring
Outside Surface	1.7 μ m	0.5 μ m
Inside Surface	0.9 μ m	0.7 μ m

Table 2는 45회 입자유동 싸이클경과의 결과를 나타낸 것이다. 입자는 SiC #80을 사용한 경우로서 버의 위치에 따라 다소의 디버링 차이가 있으나, 전반적으로 버의 제거가 효과적으로 되었음을 증명하고 있다. 특히 스프링콜릿 상부에서의 완전디버링이 이루어짐으로서 100% 제거가 되었으며, 또한 표면거칠기가 외면은 1.7 μ m에서 0.5 μ m로 내면은 0.9 μ m에서 0.7 μ m로 개선되었다.

Fig 5는 디버링압력과 진원도, 동심도와의 관계를 나타낸 것이다. 디버링압력은 각각 30, 35, 40kg/cm²으로 주었을 때 디버링 과정에서 스프링콜릿의 변형상태에 대한 분석을 하기위한 실험이다. 당초 예상하였던 바와같이 스프링콜릿 고정용 지그의 설계가 대단히 중요하며, 균일분포의 입자유동이 이루어졌음을 알 수 있고, 디버링전의 진원도와 동심도는 전혀 변화가 없음을 증명하였다. 다만 스프링콜릿의 기계가공중에 생성된 내외경 진원도와 동심도는 입자유동상태에서 그대로 전사됨을 알 수 있다.

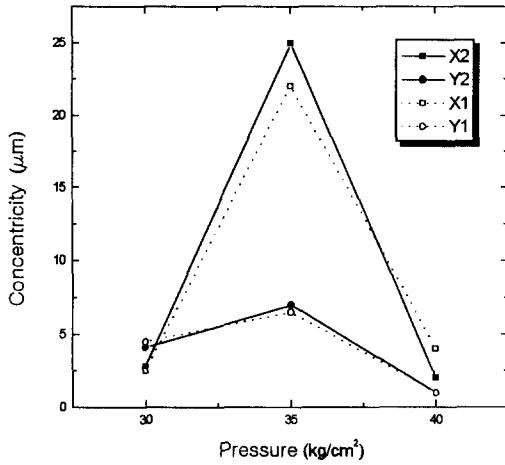
Pressure		Pressure(kg/cm ²)					
		30		35		40	
Roundness, Concentricity	X(μ m)	2.8	25	2			
	Y(μ m)	4.1	7	1			
Roundness	X(μ m)	In	Out	In	Out	In	Out
		4	2	3	4	2	3
	Y(μ m)	3	2	2	3	2	3
		D(μ m)	8	3	6	7	4



X : Max Error
 Y : Normal Error
 X1, Y1, D1 : Before Deburring
 X2, Y2, D2 : After Deburring

$$D = \sqrt{D_1^2 + D_2^2 + D_3^2 + D_4^2}$$

(D_1, D_2, D_3, D_4 : Measurement points)



X, Y : Error
 X1, Y1 : Before Deburring
 X2, Y2 : After Deburring

Fig 5 Relationship between Accuracy and Deburring Pressure (HV)

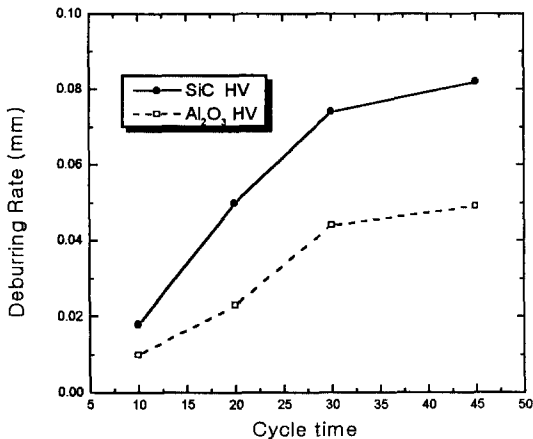


Fig 6 Relationship Between Deburring Rate of SiC and Al₂O₃

Fig 6은 탄화규소(SiC)계와 알루미나(Al₂O₃)계의 두가지미디어를 사용해서 얻은 디버링 결과이다. 미디어의 점도는 HV(2900mPa·s), 가공압력 40kg/cm²으로 10회, 20회, 30회, 45회 가공후의 버 제거량

을 관찰하였다. 전반적으로 SiC계열의 미디어를 사용하여 디버링한 경우가 Al₂O₃계열보다 버 제거량이 우수하게 나타났다.

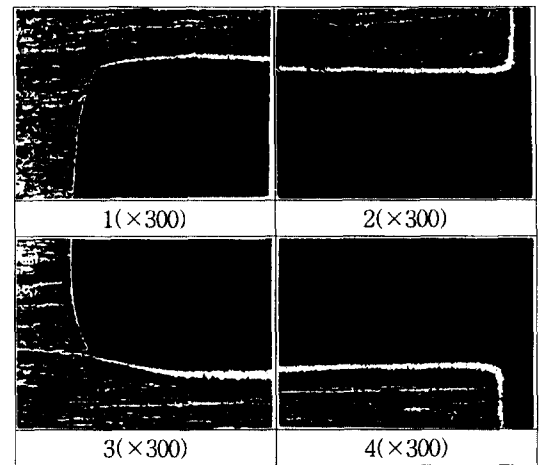
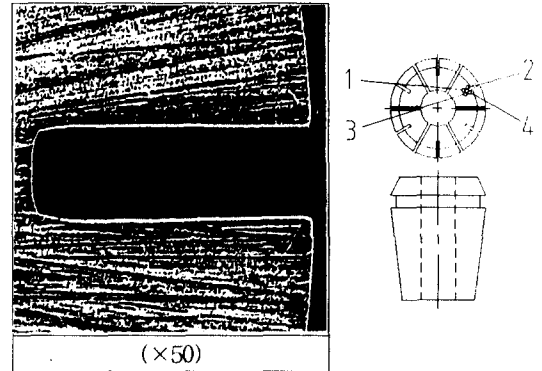


Fig 7 Result of Deburring

Fig 7은 SiC계열의 미디어를 사용하여 얻은 디버링결과로서 전반적인 부분이 완전하게 버가 제거되었음을 알 수 있다. 본 디버링은 45회의 사이클과 40kg/cm²의 압력으로 실험되었으며 제로버(Zero Burr)가 실현되었음을 증명하였다.

Fig 8은 사이클회수에 대한 표면거칠기의 변화를 각각 고점도(HV), 중점도(MV), 저점도(LV)별로 측정하여 그 결과값을 나타낸 것이다. 가공횟수가 증가할수록 표면거칠기 향상되는 것을 알 수 있으며, LV나 MV에 비해서 HV의 경우에 가장 양호한 결과를 보여주고 있다. 입도80# SiC계열의 고점도(HV)미디어를 사용한 경우, 사이클에따라 비례적으로 표면조도(R_{max})가 향상됨을 알 수 있다.

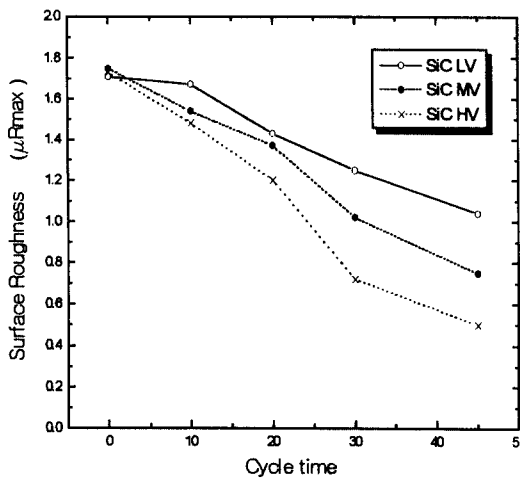


Fig 8 Surface Roughness According to Cycle Time

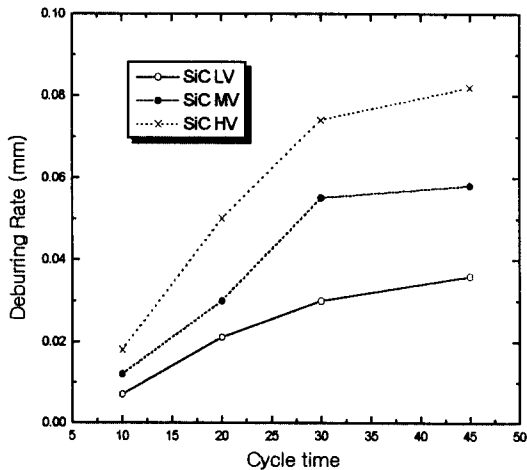


Fig 9 Deburring Rate according to Cycle Time

Fig 9는 싸이클회수에 대한 디버링비를 나타내 주고 있으며, SiC계열의 미디어를 각각 HV, MV, LV의 조건에서 디버링을 실행하여 버 제거량을 관찰하였다. 여기에서 나타내 주는 것과 같이 고점도(HV)로 하였을 때 가장 양호한 결과를 얻을 수 있었으며, 다만 싸이클회수 30회까지는 급격한 디버링비를 나타내다, 그 이후에는 서서히 버가 제거됨을 나타냈다.

5. 결론

정밀을 요하고 난삭가공제품으로 일컫는 스프링

콜릿에 대한 디버링 특성에 대하여 연구한 결과는 다음과 같다.

- 1) 입자자동가공은 기계가공중에 발생된 스프링콜릿의 버 제거에 효율적인 시스템임을 알 수 있었다.
- 2) 버 제거량의 경우 SiC계가 Al₂O₃계보다 우수함을 나타냈다.
- 3) 스프링콜릿의 진원도 및 동심도는 디버링 압력과 무관함을 나타내었다.
- 4) 디버링 효과는 고점도의 경우가 중점도 및 저점도에 비하여 우수함을 알 수 있었다.
- 5) 입자자동가공시스템은 스프링콜릿 내외부의 버 제거와 동시에 표면거칠기의 향상도 동시에 이루어짐을 나타내었다.

참고문헌

1. 김정두, 김병현, 유지운, 최혜영, 휘싱트래클 릴 프레임 홀면의 디버링 특성, 한국공작기계학회 춘계학술대회, pp. 203~208, 1998.
2. R. Resnick, Advanced Abrasive Flow Technology, Deburring and Surface Finishing, 5th International Conference, CA. USA, pp.16~27, 1998.
3. L. J. Rhoades, Abrasive Flow Machining and its use, Conference proceedings, pp.111-120, 1986.
4. Larry Rhoades, Abrasive flow machining: a case study, Journal of Materials Processing Technology, Vol. 28, pp107-116, 1991.
5. T. R. Loveless, R. E. Williams, A Study of the effects of abrasive-flow finishing on various machined surfaces, Journal of Materials Processing Technology, Vol. 47, pp133-151, 1994.
6. R. E. Williams, K. P. Rajurkar, Stochastic Modeling and Analysis of Abrasive Flow Machining, Transaction of the ASME, Vol. 114, pp74-81, 1992.
7. L. J. Rhoades, Abrasive Flow Machining, Manufacturing Engineering, NOV., pp75-78, 1988.
8. Relationships and Unperturbed Dimensions of Linear Chain Molecules, John Wiley and Sons Inc., ppVII/1-28, 1989.
9. J. A. Brydson, Flow Properties of Polymer Melts, London Iliffe Books, pp16-20, pp142-143, 1970.