

자동차 쇼크 업 소버용 피스톤과 리바운드 1체형 소결부품 제작에 관한 연구

임태환 · 장태석 · 엄호성*

A study on the sintered monolithic component of piston and rebound for automobile shock absorber

Tae-Whan Lim, Tae-Suk Jang and Ho-Sung Aum*

요 약 피스톤(piston)과 리바운드(rebound)를 1체형 소결부품으로 제조하기 위하여는 후가공시 발생하는 홀(hole)부분의 막힘 현상, 홀 부분의 치수 편차 현상, 가공 응력 집중에 의한 부품 모서리(edge)부의 크랙 발생 현상 등의 문제가 있다. 본 연구에서는 이와 같은 문제를 해결하기 위하여 성형체 및 소결체의 밀도 평가, hole 부분의 조직 평가(홀 내부 단차, 홀 내부의 버(burr) 발생 및 홀 크기), 소결체의 감쇠력 및 내구성 평가 등을 체계적으로 실시하여, 성형에서 발생하는 크랙, 홀 내부의 단차, 홀 크기의 문제점을 해결하였다.

Abstract When a monolithic component of piston and rebound is produced by sintering process, some technical problems such as clogging of holes during post-machining, dimensional change around the holes, and cracking of the component edges due to concentration of mechanical stress during machining are frequently encountered. To solve these problems, we systematically evaluated and investigated the density of green compacts and sintered parts, the microstructural change around the holes, and the attenuation and durability of the sintered parts in this study. By doing so, it was able to solve above problems.

Key Words : shock absorber, sintering, piston, rebound, damping force.

1. 서 론

분말야금법(소결법)을 통한 철계(Fe-Cu-C계)부품의 제조는 분말혼합, 금형성형, 고상소결, 후가공(sizing, 연삭, 절삭 등) 등의 공정으로 생산된다. 이와 같은 공정으로 제조된 철계 소결 부품은 주로 고성능·고강도를 요구하는 자동차용 부품 및 가전용 부품으로 사용된다[1-3].

여기서 연구하여 해결하려는 소결 부품은 자동차 쇼크 업 소버(shock absorber)용 피스톤(piston)과 리바운드(rebound)이다. 현재 피스톤과 리바운드는 소결법으로 각각 제조한 후 볼트로 체결하여 1체화시켜 제품으로 생산된다. 따라서 제품 제조에 있어 2개의 소결 부품을 볼트로 체결하므로 제조공정이 길어지고, 볼트

를 사용하는 등의 문제가 있으므로 우선적인 원가 절감 부품에 해당된다. 따라서 이와 같은 가격 경쟁력 문제를 해결하기 위하여는 피스톤과 리바운드를 1체형 소결 부품으로 제조하여야 한다. 1체형으로 제조되면 피스톤과 리바운드를 체결하는 과정 없이 한번에 피스톤과 리바운드를 제조할 수 있으므로 생산원가를 20% 정도 절감시킬 수 있으나 해결하여야 할 점들이 다수 있다. 예를 들어, 1체형으로 제조시 해결하여야 할 점들을 보면 가공시 발생하는 홀(hole)부분의 막힘 현상, 홀 부분의 치수 편차 현상, 가공 응력 집중에 의한 부품 모서리(edge)부의 크랙 발생 현상, 가공부의 가공경화 현상 등이 있다.

본 연구에서는 이와 같은 문제를 해결하기 위하여 성형체 및 소결체의 밀도 평가, 홀 부분의 조직 평가, 가공할 부위의 가공성 평가, 소결체의 기계적 특성 평가(경도, 내마모성 등), 소결체의 감쇠력 및 내구성 평가 등을 체계적으로 실시하여, 피스톤과 리바운드 1체형 소결체를 제작하는 것을 목적으로 한다.

선문대학교 재료화학공학부 전소재료 전공
*선문대학교 기계 및 제어공학부 기계공학 전공
E-mail : ltw@omega.sunmoon.ac.kr

2. 실험방법

원료 분말로는 Fe-0.3%Mn χ -0.7%C분말에 윤활제로 스테아린산 아연이 0.8%첨가 PREMIX분말을 사용하였다. 필요에 의하여 Mn χ 가 0.5, 0.85%첨가된 PREMIX분말도 사용하였다. 성형은 양산용 기계식 자동 프레스(CIN-200톤)를 이용하여 성형체 밀도가 6.45~6.50g/cm³가 되도록 성형체(중량: 40~41 g)를 제작하였다. 소결은 양산용 mesh belt로를 사용하여 endothermic(변성 탄화수소)가스, 1125°C의 온도에서 분당 140 mm의 belt속도로 실시하였다. 얻어진 소결체에 대하여는 Fig. 1에 나타낸 형상으로 1차 형상가공 및 2차 grooving 가공을 실시하였다. 가공이 끝난 소결체에 대하여는 소결체의 기공을 폐쇄시키고, 소결체의 산화를 억제시키기 위하여 증기처리를 실시하였다.

이상의 공정으로 제작한 소결체에 대하여는 밀도 평가, 조직관찰, 경도측정, 홀 가공 부분의 조직 평가, 실제 사용 환경에서의 감쇠력 및 내구성 측정 등을 체계적으로 실시하였다.

3. 실험 결과 및 고찰

쇼크 업 소비는 자동차의 차체(body)와 차륜(tire)사이에서 스프링과 함께 조립되어 차량의 주행시 ① 차체에 전달되는 진동을 억제하여 승차감을 향상시키고, ②타이어가 노면으로부터 이탈되지 않도록 하여 주행 안전성 및 조정성을 양호하게 하고, ③엔진 출력을 효과적으로 노면에 전달하여 연료비를 절약시키고, ④제동 효과를 향상시키는 역할을 하므로 자동차의 핵심 부품이다[4].

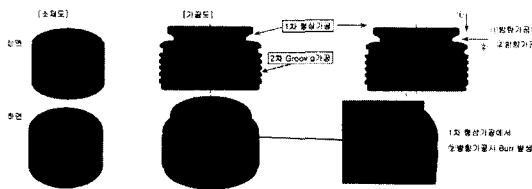


Fig. 1. 피스톤과 리바운드 1체형 소결체의 1차 형상 가공 및 grooving 가공

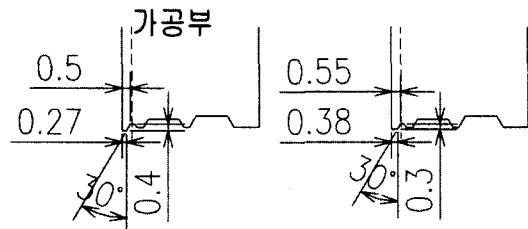


Fig. 2. 금형 펀치 하면부의 치수

성형공정에 있어, 가압 후 피스톤과 리바운드 1체형 성형체를 금형에서 추출시(ejection) 펀치 하면부 파손에 따른 성형체 깨짐 현상이 발생하였다. 이 문제점을 해결하기 위하여 금형의 펀치 하면부를 Fig. 2에 표기한 치수로 수정·변경한 결과 하면부에서 깨짐이 발생하는 것을 방지할 수 있었다. 이상과 같은 조치로 건전한 성형체를 제작하는 것이 가능하게 되었다.

성형, 소결 후 실험 계획법에 의거 10개의 Fe-0.3%Mn χ -0.7%C소결체를 채취하여 밀도를 측정된 결과, 6.5~6.8 g/cm³로 나타나는 것을 확인하였다. 또한 밀도 측정된 소결체를 절단·연마하여 중심부에 대하여 경도(HRB) 측정된 결과, 약 75정도로 나타나, 요구 경도값 70보다 높은 것을 확인하였다. Fig. 3에는 소결체의 광학 현미경 조직을 나타내었다. 그 결과, 소결체의 밀도에 상응하는 기공이 잔류하고 있는 것을 알 수 있다. 조직적으로는 결정립 크기가 25~30 μ m으로 된 아공석강 조직(α , α +Fe₃C)을 나타내고 있다.

소결체를 피스톤과 리바운드 1체형으로 제작하기 위하여는 시편의 외주 형상가공 및 grooving 가공을 실시하여야 한다. 따라서, 가공성 전반에 대하여 평가하였다. 먼저, 외주 형상 가공 후 가공면에 대하여 정밀 관찰한 결과, 가공 홀 내부에 버(burr)가 발생하였다. 이 버는 brushing작업 후에도 완전히 제거하는 것이 불가능하였다. 이와 같은 버가 발생한 것은 소결체의 피삭성(가공성)이 나쁘기 때문이라고 생각하여 원료분말에 피삭성 향상 원소(화합물)인 Mn χ 를 각각 0.5%, 0.85%첨가한 소결체를 제작하여 홀 가공 후 홀 내부를 관찰한 결과 버의 발생은 약간 감소하였으나, 개선 효과는 크지 않았다(Fig. 4 및 Table 2에 후술). 여기서 쇼크 업 소비 본체의 구조를 보면, 작동실과 베이스 웰(reservoir)부로 나누어져 있고, 피스톤이 습동되는 작동실에는 충분한 오일이 채워져 있고, 베이스 웰실에는 약 1/3정도의 공기 또는 가스가 있어 피스톤 로드가 상하 작동시 내부

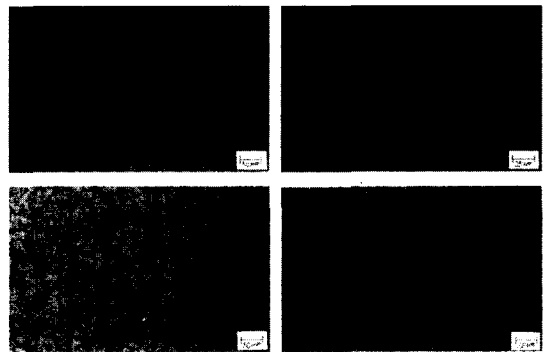


Fig. 3. 1체형 소결체(Fe-0.3%Mn χ -0.7%C)의 단면 중심부 광학 현미경 조직 사진 예

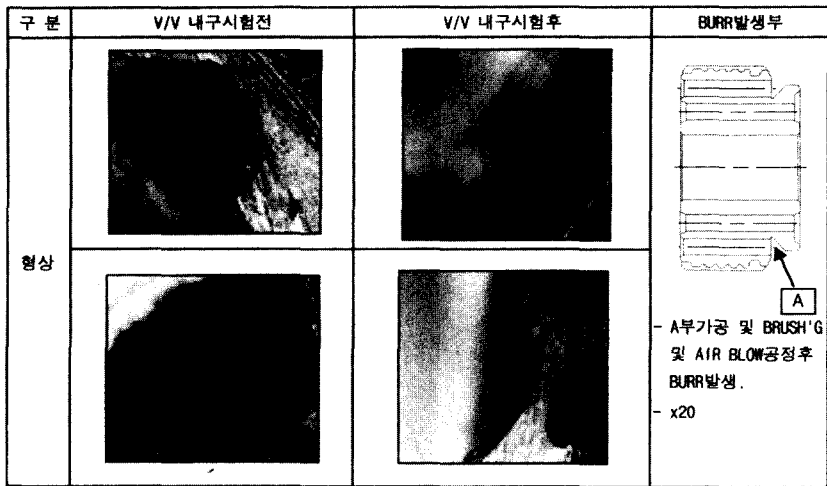


Fig. 4. 1체형 소결체(Fe-0.85%Mnχ-0.7%C)의 V/V내구 시험 전, 후 hole부 형상

체적 증감에 따른 오일의 저장 탱크 역할을 한다. 리바운드측 밸브는 튜브 내면을 습동하는 피스톤에 조립되고, 압축(compression)측 밸브는 튜브 하단(body)에 조립되어 피스톤 로드 상하 작동시 피스톤 속도에 따라 밸브의 개폐 면적이 변화되어 감쇠력이 조정된다. 여기서 감쇠력(damping force)이란 어떤 물체의 진동을 감소시킬 때 필요한 힘이다[4]. 예를 들어 쇼크 업 소버의 감쇠력이 0.3 m/s때 41 kg이라면 1초 동안에 쇼크 업 소버를 30 cm압축 또는 팽창할 때 41 kg의 힘이 필요하다는 뜻이다. 이와 같은 이해 하에 다음은 제작한 피스톤과 리바운드 1체형 Fe-0.3%Mnχ-0.7%C소결체와 현재 사용하고 있는 분리형 소결체에 대하여 감쇠력 성능을 비교 측정하여 Table 1에 나타내었다. 그 결과, 리바운드 쪽을 보면 0.3 m/s, 68±11 kg이상의 구간에서

감쇠력은 분리형이 1체형에 비하여 9~26 kg높은 것을 알 수 있다. 그 차이는 속도가 빠를수록 높게 나타났다. 피스톤 쪽을 보면 어느 경우에 있어서나 감쇠력의 차이는 크지 않은 것을 알 수 있다. 리바운드 쪽에서 속도가 빠를수록 감쇠력이 크게 차이 나는 결과에 대하여 구체적인 검토한 결과, 단차에 기인한 것으로 판단되어 금형 수정을 통하여 리바운드 쪽의 감쇠력 차이 문제점을 해결하였다. 일반적으로 피스톤 속도 0.3 m/s구간에서 단차 0.01 mm변화시 감쇠력은 10 kg좌우된다. 또한 홀 크기는 고속 구간에서 감쇠력에 영향을 준다. 예를 들어 1.0 m/s구간에서 홀 크기 Φ1.80, 1.88에 따른 감쇠력을 보면, 리바운드(신장)에서는 각각 213, 200으로 나타나 감쇠력 차이는 13이고, 압축에서는 각각 138, 150으로 나타나 감쇠력 차이는 12로 나타난다. 본 실험

Table 1. 피스톤과 리바운드 분리형 소결체(Fe-0.3%Mnχ-0.7%C)와 1체형 소결체의 감쇠력 성능 비교

사양구분	구분	REBOUND측							COMPRESSION측						
		0.005	0.1	0.3	0.6	1.0	1.2	1.5	0.055	0.1	0.3	0.6	1.0	1.2	1.6
요구하중(kg)		(12±4)	(31±6)	68±11	(92±14)	(128±19)	(146±21)	-	(12±5)	(18±5)	28±6	(38±8)	(49±10)	(60±12)	-
분리형	#1	12	32	64	89	125	144	178	14	22	32	42	55	61	73
	#2	12	34	62	86	120	138	167	13	21	31	41	54	60	66
	#3	13	35	65	89	126	146	179	16	27	39	49	62	68	79
	평균	12	33	64	88	124	142	174	14	23	34	44	57	63	73
일체형	#1	11	29	54	74	104	119	145	11	19	27	36	48	56	52
	#2	12	29	54	75	106	122	148	15	24	35	45	58	64	71
	#3	11	31	57	78	109	125	152	16	24	33	43	55	61	72
	평균	11	30	55	76	106	122	148	14	22	31	41	54	60	65
차이		-1	-3	-9	-12	-18	-20	-26	0	-1	-3	-3	-3	-3	-8

Table 2. 1체형 소결체(Fe-0.85%Mn χ -0.7%C)의 V/V내구 시험 전, 후 감쇠력 비교

속도 (m/s)	REBOUND측							COMPRESSION측						
	0.005	0.1	0.3	0.6	1.0	1.2	1.5	0.055	0.1	0.3	0.6	1.0	1.2	1.6
요구하중(kg)	(12±4)	(31±6)	68±11	(92±14)	(128±19)	(146±21)	-	(12±5)	(18±5)	28±6	(38±8)	(48±10)	60±12	-
시험 전	7	16	57	80	114	131	158	9	12	40	56	75	83	98
시험 후	16	32	53	75	106	124	151	23	33	44	55	72	81	95

의 경우 홀 크기에 대해 조사한 결과, 홀 크기의 치수 편차는 거의 없는 것을 확인하였다. 따라서 감쇠력 차이는 홀 크기와는 상관관계가 없는 것을 알았다.

다음은 3종류의 소결체 중에서 피삭성이 가장 우수하고, 홀 내부에 버가 가장 적게 발생한 Fe-0.85%Mn χ -0.7%C소결체에 대하여 V/V 내구 시험 전과 후의 hole 부 버형상을 비교하여 Fig. 4 및 Table 2에 나타내었다. 그 결과 내구시험 전에 홀 내부에 붙어 있던 버가 내구 시험에 의하여 떨어져 나가는 것을 알 수 있다. 또한 이 버가 Table 2에 나타난 감쇠력 비교 결과로부터 알 수 있듯이 쇼크 업 소비의 내구성과 성능에 영향을 미친다. 즉 요구하중이 높을수록 내구 시험 전에 비하여 내구 시험 후가 감쇠력이 떨어지는 것을 알 수 있다. 현재는 이 문제점을 해결하기 위하여 소결체의 가공 방법 및 Mn χ 이외의 피삭성 향상 원소(예를 들어 P, Ca, Pb 등) [5]를 소결체에 첨가하여 실험을 실시하고 있다.

4. 결 론

피스톤(piston)과 리바운드(rebound)를 1체형 소결품으로 제조하기 위하여는 후 가공시 발생하는 홀(hole) 부분의 막힘 현상, 홀 부분의 치수 편차 현상, 가공 응력 집중에 의한 부품 모서리(edge)부의 크랙 발생 현상, 가공부의 가공경화 현상 등의 문제점이 있다. 본 연구에서는 이와 같은 문제를 해결하기 위하여 성형체 및 소결체의 밀도 평가, 홀 부분의 조직 평가, 소결체의 감쇠력 및 내구성 평가 등을 실시하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

1) 피스톤과 리바운드 1체형 소결체 제작에 있어 성형 공정에서 제품 추출시 편치 하면 보호부 파손에 따른 성형체 깨짐이 발생하여 금형의 편치 하면 보호부 치수 수정을 통하여 성형체 깨짐 현상을 방지시켰다.

2) 1체형으로 만들기 위하여 시편을 외주 형상 가공 후 가공면에 대하여 정밀 관찰한 결과, 가공 홀

내부에 버(burr)가 발생하였다. 이 버는 brushing작업 후에도 완전히 제거하는 것은 불가능하여, 소결체에 피삭성 향상 원소(Mn χ) 첨가량을 증가시켰으나, 개선 효과는 크지 않았다.

3) 1체형 소결체(Fe-0.3%Mn χ -0.7%C)와 분리형 소결체에 대하여 감쇠력 성능을 비교 측정한 결과, 리바운드 쪽을 보면 0.3 m/s, 68±11 kg이상의 구간에서 감쇠력은 분리형이 1체형에 비하여 9~26 kg높게 나타났다. 피스톤 쪽을 보면 어느 경우에 있어서나 감쇠력의 차이는 크지 않았다. 리바운드 쪽에서 속도가 빠를수록 감쇠력이 크게 차이 나는 결과에 대하여 검토한 결과, 단차에 기인한 것으로 판단되어 금형 수정을 통하여 리바운드 쪽의 감쇠력 차이 문제점을 해결하였다.

4) 홀 크기에 대해 조사한 결과 홀 크기의 치수 편차는 거의 없는 것을 확인하였다. 따라서 감쇠력 차이는 홀 크기와는 상관관계가 없는 것을 알았다.

5) 피삭성이 가장 우수한 Fe-0.85%Mn χ -0.7%C소결체에 대하여 V/V 내구 시험 전과 후의 홀부 버형상을 비교한 결과, 내구시험 전에 홀 내부에 붙어 있던 버가 내구시험에 의하여 떨어져 나가는 것을 알 수 있다. 따라서 이 버가 쇼크 업 소비의 내구성과 성능에 영향을 미친다고 판단하여, 현재 이 문제를 해결하려고 계속 연구하고 있다.

참고문헌

- [1] R. M. German, "Powder Metallurgy of Iron and Steel", John Wiley & Sons, Inc., 1998.
- [2] 日本粉末冶金工業會, "燒結機械部品", 技術書院, 1987.
- [3] 강석중, 권영순, 김득중, "분말재료공학", 한국분말야금학회, 2004.
- [4] 한국 현대자동차 기술 연구회, "자동차 용어 대사전", 현대, 2000.
- [5] 門間改三, "鐵鋼材料學", 實教出版, pp. 187-194, 1989.