한국소성가공학회 2005년도 춘계학술대회 논문집 pp. 258~261

분말야금법을 이용한 유압펌프용 실린더 블록의 제조 가능성 연구

지창운[1]· 정석환[2]· 권영삼[2]· 강민석[3]· 전만수[#]

Feasibility Study on Making a Cylinder Block of a Hydraulic Pump by Powder Metallurgy

C. W. Ji, S. H. Chung, Y. S. Kwon, M. S. Kang and M. S. Joun

Abstract

In this paper, experimental and numerical attempts are made for application of powder metallurgy forming technology to making the cylinder block of a hydraulic pump of which height reaches nearly 70 mm and is ten times larger than the wall thickness. Leak tests with several compositions are carried out in order to find allowable powder composition to prevent leak under high pressure in service and CAE techniques are applied to finding proper process conditions. Through the research, the possibility of the powder formed cylinder block that is very competitive from the point of both cost and mass production has been shown, even though its thickness exceeds the recommended limit considering heterogeneous density distribution caused by the friction between a powder compact and dies.

Key Words : Powder Metallurgy, Hydraulic Cylinder Block, Finite Element Analysis, Process Condition, Leak

1. 서 론

국내에서는 현재, 굴삭기 등 중장비용 유압기기 부품인 실린더 블록은 요구된 윤활 특성과 비교적 복잡한 모양 때문에 주조 후 절삭가공 공법으로 생산되고 있다. 따라서 품질의 균질성이 떨어지고, 생산성 저조 및 절삭비용 과다로 인하여 타 공법으로의 전환이 꾸준히 시도되었다. 윤활 특성 관점에서 주목을 받아 온 공법이 분말야금법이다.

분말야금법으로 복잡한 형상의 정형 가공이 가능하고 생산성 측면에서 강점을 가지고 있으며, 적절히 제어된 공극이 윤활 특성에 효과적이기 때문이다[1]. 그러나 분말야금에서는 일정한 두께 이상이 넘지 않도록 제한하고 있다. 성형시 분말과 금형간의 마찰로 인한 밀도의 불규칙한 분포가 발생하여 제품의 기계적 성질을 크게 떨어뜨릴 수 있기 때문이다.

본 연구에서 개발하고자 하는 중장비용 유압실린더 블록은 상식적인 한계를 초과하는 두께를 가진 제품이다. 따라서 유압실린더 블록에 대한 분말야금 공정 개발에는 몇가지 어려움이 있다. 첫째, 유압기기의 작동시 실린더 블록 내부에 높은 압력의 유압이 걸리게 되는데 분말야금 제품의 경우 내부의 기공으로 인해 누수 문제가 있다. 둘째,

1. 경상대학교 기계항공공학부 대학원
2. ㈜ 쎄타텍
3. (사)경상대 수송기계부품기술혁신센터
#. 교신저자, 경상대학교 기계항공공학부
E-mail:msjoun@nongae.gsnu.ac.kr

본 연구를 통해 개발하려고 하는 유압실린더 블록의 직경이 클 뿐 아니라 금형압축 공정으로 성형하기에는 두께에 비해서 높이가 큰 제품이다. 두께에 비해서 높이가 큰 형상인 경우 분말과 금형과의 마찰로 인해서 높이 방향으로 분말체 내부에 밀도 구배가 생기기 때문에 제품 전체에서 원하는 물성을 얻기 어려운 점이 있다.

본 연구에서는 몇가지 조성에 대한 누수 테스트를 통해서 누수 방지에 적합한 조성을 개발하고 CAE 해석을 통해서 금형압축 후 분말성형체에서의 밀도 구배를 줄일 수 있는 공정조건을 개발하는 방식으로 분말야금법을 이용한 유압실린더 개발 연구를 진행하였다.

2. 기존 제조 공법

Fig.1 은 본 연구에서 개발대상으로 삼은 유압펌프 조립체를 개념적으로 나타내고 있다.

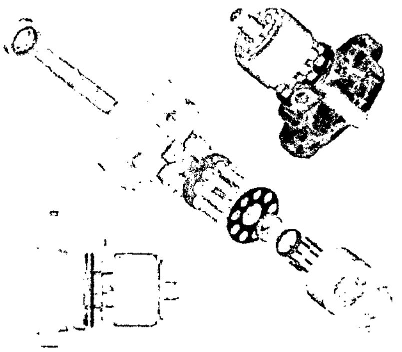

Fig. 1 Schematic diagram of a hydraulic pump

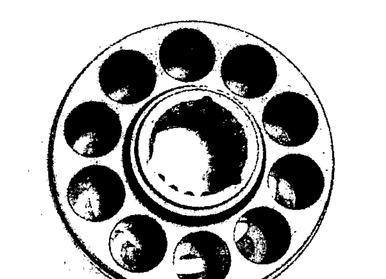

Fig. 2 Hydraulic cylinder block manufactured by machining of a cast workpiece

현재, 유압펌프의 실린더 블록은 주조 후 절삭가공에 의하여 생산되고 있으며, 절삭가공에 소요되는 시간 및 금전적 비용이 생산비의 상당부분을 차지하고 있다. Fig. 2 는 주조 후 절삭가공으로 현재 생산되고 있는 제품의 형상을 나타내고 있다.

본 연구에서는 제품의 생산단가를 줄이기 위해서 분말야금 공법을 이용해서 정형에 거의 가까운 제품을 생산함으로써 기계가공의 양을 최소화하는 방안을 연구하였다.

3. 분말야금 공법 개발

3.1 구조해석

일반적으로 분말야금 제품은 강도 측면에서 약점이 있기 때문에, 먼저 유압펌프 작동 시 유압실린더 블록에 걸리는 응력을 계산하여 분말야금공정 적용 가능성 유무를 판단하였다. Fig. 3 은 ABAQUS 를 이용한 구조해석 결과를 나타내고 있다.

해석 결과, 30 MPa 의 내압이 걸렸을 때 실린더 블록에 최대 65 MPa 의 응력이 걸리는 것으로 나타났다. 탄소가 함유되어 있는 분말 제품의 항복강도 (250 MPa 이상)를 고려해 보았을 때 구조적으로는 문제가 없음을 확인하였다.

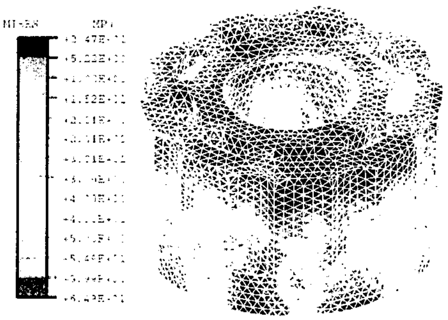

Fig. 3 von Mises stress distribution in a hydraulic cylinder block

3.2 분말 조성

유압실린더 블록의 가장 중요한 요구사항은 실린더에 고압이 걸렸을 때 누수가 발생하지 않아야 한다는 것이다. 유압펌프의 작동 시 최대 압력은 30 MPa 이며, 누수 테스트에서는 안전율을 고려해서 40 MPa 의 압력에도 견딜 수 있는 조성을 찾는

것을 목표로 하였다. 본 연구에서 고려한 분말의 조성은 표 1 에서 보는 바와 같이 3 가지이다. 각 조성은 ABC100.30 을 기본으로 C, P, Cu, Mo, FeS 등을 혼합하여 만들었다. 황은 소결시 연결되어 있던 기공을 분리시켜주는 역할을 하기 때문에 표면 침탄 등이 필요한 경우 첨가시켜준다. 인의 경우 소결시 액상으로 변하기 때문에 기공의 구형화에 도움을 준다.

Table 1 Tested compositions to prevent leak

조성	Fe	C	P	Cu	Mo	FeS	Lub.
1	bal.	0.5	0.45	2.0	-	1.0	0.8
2	bal.	0.5	-	2.0	1.5	1.0	0.8
3	bal.	0.5	0.45	2.0	-	3.0	0.8

각 조성에 대해서 밀도 6.6, 6.8, 7.0 인 원형실린더 형상을 금형압축 공법으로 성형한 후 소결을 실시함으로써 시편을 제작하였다. 실험은 1 차와 2 차로 구분하여 실시되었다. 1 차 시험에서는 조성 1 과 2 를 이용하였는데 이때 사용한 소결 온도는 1120 °C 이었다. 표 2 는 제작된 시편을 이용하여 구한 최대 누수압력을 나타내고 있다. 표에서 보는 바와 같이, 1 차로 선정한 분말 조성과 소결 조건으로는 밀도 7.0 에서 최대 30MPa 밖에 견딜 수 없는 것으로 나타났다. 따라서 안정성 측면에서 실패한 조성이라고 판단하여 밀도 6.6 과 6.8 에서의 누수시험은 생략하였다. 한편, 2 차 시험에서는 FeS 의 양을 3%로 증가시키고 소결온도를 1170 °C 로 올린 상태에서 소결 시편을 준비하였으며, 1 차와 같은 방법으로 누수 테스트를 실시하였다. 표 2 에서 보는 바와 같이 조성 3 의 경우 밀도 6.6 에서도 최대 누수압이 43.4 MPa 로 나타났다. 이는 유압펌프 작용 시 걸리는 최대 유압 30MPa 을 훨씬 상회하는 수치이다.

실험 결과로부터 황(S) 및 인(P)의 첨가가 누수 방지에 효과가 있으며 소결 온도가 높을수록 누수 방지 효과가 큼을 알 수 있다. 소결 온도를 높여주면 분말 입자간의 확산을 촉진시켜서 기공이 밀폐되는데 도움을 준다[2]. 그러나, 황의 첨가는 소결시 제품이 부풀어 오르게 하는 성질이 있기 때문에 밀도를 최대한 올려야 하는 목적에는 상충되며, 소결 후 제품 표면이 매끄럽지 못한 문제가 있기 때문에 조성에 대한 추가 연구가 필요하다고 사료된다.

Table 2 Leak test results (Unit : MPa)

조성\밀도	6.6	6.8	7.0	회차
1	-	-	30	1
2	-	-	25~30	1
3	43.4	44.8	-	2

3.3 금형압축 공정조건 선정

본 연구에서 대상으로 하고 있는 유압실린더 블록의 경우 제품의 높이가 69mm 로서 기존의 분말야금 제품에 비해서 상당히 큰 제품이다. 특히 두께 대비 높이의 비율이 10 배 이상되는 제품으로 성형시 높이 방향의 밀도 구배가 공정의 성공여부를 결정짓는 중요한 요소이므로, 공정 최적화가 필수적이다. 따라서 분말성형 공정 해석 프로그램인 PMsolver[4]를 이용해서 공정 최적화를 실시하였다. Shima & Oyane 모델[3]을 분말의 성형 거동을 예측하기 위한 모델로 이용하였으며, 재료 물성 측정을 포함한 구체적인 내용은 참고문헌[4]으로 대신한다.

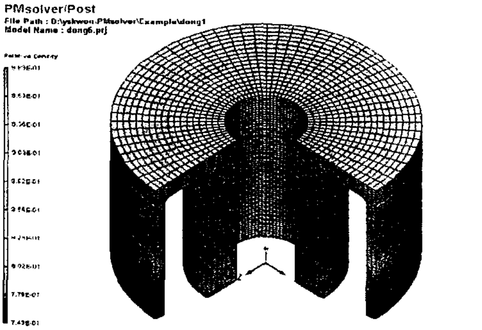

Fig. 4 Relative density distribution under the selected process conditions

Fig. 4 는 최적화된 공정에서 분말성형체의 밀도 분포를 나타내고 있다.

3.4 제품 성형 및 소결

유압실린더 블록을 성형하기 위해서 상 1 단 하 2 단의 다이세트를 이용하여 300 톤 유압 분말프레스로 성형하였다. 초기 분말 충진 높이는 140mm 이었으며 최종 제품에서의 높이는 69mm 이었고 겉보기 밀도는 3.0 g/cm^3 이었다. 누수를 막기 위해

서는 성형밀도가 가능한 한 크면 클수록 유리하기 때문에 분말충진량을 늘이면서 성형테스트를 반복하였다. 실험장비의 한계로 본 연구에서는 평균 성형 밀도 6.5 g/cm^3 까지만 실험을 실시하였다.

Fig. 5 는 평균밀도 6.5 g/cm^{3}까지 성형한 분말성형체를 1170 °C 에서 소결한 것으로, 높이 방향의 밀도 분포를 측정하기 위해 그림에서와 같이 일부분을 절단한 다음 Fig. 6 에서와 같이 높이 방향으로 4 등분하여 수중법(한국산업규격 KSD 0033-1990)으로 밀도를 측정하였다.

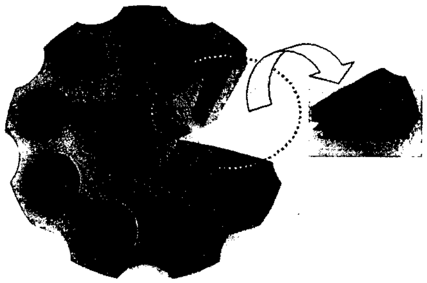

Fig. 5 Sampled density measurement points of the sintered product

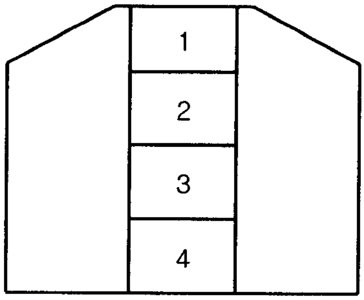

Fig. 6 Divided test specimen for density measurement

Table 3. Measured densities

	무게(g)	Wax 포함(g)	수중무게(g)	밀도
1	53.026	53.374	44.709	6.12
2	25.485	25.596	21.453	6.15
3	25.595	25.742	21.543	6.10
4	31.930	32.115	26.881	6.10

Table 3 은 Fig. 6 의 시편들에서 밀도를 구하기 위해서 측정한 데이타를 나타내고 있다. 평균 밀도 6.5g/cm^3 보다 낮은 밀도 6.10-6.15g/cm^3 가 측정되었는데, 이는 3.2 절에서 설명했던 바와 같이 소결시 황의 영향으로 팽창이 많이 일어난 것으로 추측된다.

4. 결 론

본 연구를 통해서 분말야금법에 의한 실린더 블록의 성형 가능성을 확인할 수 있었으며, 실린더 블록의 요구물성 중 내압에 대한 누수시험을 통하여 분말야금제품의 취약점 중 하나인 내부 기공의 최대 허용정도를 정량적으로 확인할 수 있었다. 본 연구를 바탕으로 고성능 장비의 사용과 함께 금형 설계 최적화를 통해서 보다 높은 압력으로 금형압축성형이 가능하도록 하고, CAE 해석을 통해서 구한 최적 성형조건을 활용하는 경우 유압실린더 블록과 같이 높이가 큰 제품에도 분말야금법의 적용이 가능할 것으로 판단된다.

후기

본 연구는 산업자원부 지방기술혁신사업[RTI04-01-03], NURI 사업, 경남 지역진흥사업, ㈜ 동명중공업의 지원으로 이루어졌음.

참고문헌

[1] R. M. German, Powder Metallurgy Science, Metal Powder Industries Federation, Princeton, NJ, 1994.

[2] R. M. German, Sintering Theory and Practice, Wiley, 1996.

[3] S. Shima and M. Oyane, 1976, Plasticity theory for porous metals, Int. J. Mech. Sci., Vol. 18, pp. 33～50.

[4] Y. S. Kwon, S. H. Chung, H. I. Sanderow, K. T. Kim and R. M. German, 2003, Numerical analysis and optimization of die compaction process, PM2TEC, Las Vegas.