

볼과 소켓의 정밀 체결을 위한 회전성형 장치

전병윤¹·엄재근¹·전만수[#]

Rotary Forming Equipment for Precision Joining of the Ball and the Socket

B. Y. Jun, J. G. Eom, M. S. Joun

(Received December 20, 2006)

Abstract

A double roll rotary forming equipment is presented in this paper. The equipment is developed for joining the socket with the ball of a concave piston assembly with its geometrical tolerance requirements satisfied. The equipment is composed of a lathe, a double roll system and a roll pressing unit driven by the hydraulic system. The workpiece rotates by spindle chuck of the lathe while the double roll system approaches perpendicularly to the central line of the workpiece. The equipment is successfully applied to precision joining of the ball and the socket for the concave piston assembly of a high pressure hydraulic pump.

Key Words : Rotary Forging, Ball and Socket Joint, Concave Piston Assembly

1. 서 론

굴삭기 등 건설기계는 고효율화, 친환경화, 장수명화, 회전반경의 최소화, 저비용화 등의 방향으로 발전하고 있으며, 이에 따라 핵심 부품인 유압기기는 점차 소형화되고 고압화되고 있다. 고압화에 따라 핵심 부품의 재설계는 불가피하며 피스톤 조립체는 고압화에 가장 민감한 핵심 부품이다[1].

피스톤 조립체는 볼과 소켓 연결(Ball and socket joint)에 의하여 체결되어 있는 피스톤(Piston)과 슈(Shoe)로 구성되어 있다. 피스톤 조립체는 수많은 상대 운동과 반복하중 하에서 운용되기 때문에 고강도가 요구되며, 섯동부에서 내마모 특성이 우수해야 하므로 고경도를 요하는 부품이다. 기존의 볼록형 피스톤 조립체(Convex piston assembly)의 볼은 피스톤에 부착되어 있으며, 볼과 피스톤의 연

결 부위가 구조적으로 허약한 단점을 지니고 있어 고압화에 적합하지 않다. 따라서 관련 업계에서는 오목형 피스톤 조립체(Concave piston assembly)의 채택을 검토하고 있으며, 일부 선진 업체에서는 이미 채택하여 운용 중에 있다.

오목형 피스톤 조립체는 제조가 어렵고 비싼 단점이 있는 반면, 강과 강이 접촉하므로 불순물의 오염에 강하며, 구조적으로 목 부위의 강도가 높다. 그리고 오목형 피스톤이 볼록형 피스톤에 비하여 운동의 허용 범위가 상대적으로 크다. 반면, 제조가 용이하지 않다. 피스톤 조립체의 개발 시 주요 요구 사항은 접촉률과 마모특성, 볼과 피스톤 분리력, 피스톤과 볼의 유격량 등이다. 이러한 요구 사항은 모두 제조공정과 직결되어 있다.

피스톤 조립체는 피스톤과 슈 단품을 제작한 후 성형공정을 이용하여 볼과 소켓 연결 방식으로 체결함으로써 완성된다. 볼과 소켓 연결을 위

1. 경상대학교, 대학원 기계공학과

교신저자: 경상대학교 기계항공공학부, 항공기부품기술연구소,

E-mail: msjoun@gnu.ac.kr

하여 성형가공은 불가피하며, 체결 과정에서 발생한 소재의 변형경화는 강도를 증가시키며 궁극적으로는 볼과 피스톤의 분리력을 증가시키는 긍정적 효과로 이어진다. 성형공정에서 주요 고려 사항은 경한 소재의 파괴, 피스톤과 볼의 유격량, 형상으로부터 발생하는 공간적 제약 등이다. 이러한 특성과 요구조건을 충족시키기 위해서는 적은 하중으로 성형이 가능한 회전성형(Rotary forming)[2~13]이 효과적이다.

회전성형은 압연공정과 단조공정을 조합한 것으로 공구와 소재를 회전시켜서 소재의 일부분을 반복적으로 가공하여 제품을 만드는 특수 성형 기술의 일종이다. 회전성형에서는 원통 또는 파이프 형상의 소재와 금형간의 상대적인 회전운동과 축방향의 압축 변형을 이용하여 소재를 원하는 형상으로 성형한다. 이러한 성형 방법은 최근 제3세대 허브 베어링 제조 공정 중 조립단계에서 많이 사용되고 있다[6, 10, 13]. 베어링의 조립 공정과 같이 축방향 압축변형이 지배적일 경우, 하나의 롤을 사용하여도 무방하다. 그러나 하중이 원주방향으로 작용하는 경우에는 하나의 롤로 진원도와 허용 유격량을 만족시키기 어렵지 않다[14].

피스톤 조립체의 체결 공정은 공간상 제약으로 하중을 원주방향으로밖에 가할 수 없으며, 엄격히 규제된 유격량 등을 고려할 때, 범용 장비를 이용하여 제작하는 것은 용이한 일이 아니다. 본 논문에서는 피스톤 조립체의 체결 목적으로 개발된 성형 장치를 제시하고 이를 이용하여 체결 공정의 특성을 파악하여 공정설계에 유용한 정보를 제공하고자 한다.

2. 장치의 개발

Fig. 1에 피스톤 조립체를 나타내었다. 피스톤 조립체는 슈와 피스톤으로 이루어져 있으며 볼과 소켓 연결 방식으로 체결되어 있다. 볼이 피스톤에 부착된 것을 볼록형 피스톤 조립체라고 하고, 볼이 슈에 부착된 것을 오목형 피스톤 조립체라고 한다.

볼록형 피스톤 조립체의 체결 공정은 비교적 용이하다. 먼저 볼록형에서는 슈에 부착된 소켓이 동합금으로 성형성이 상대적으로 우수하며, 공간적으로도 공정 개발에 유리하다. 그러나 오목형의 경우, 체결 공정은 매우 까다롭다. 피스톤에 부착된 소켓의 재질과 경화처리된 표면이 성형 공정

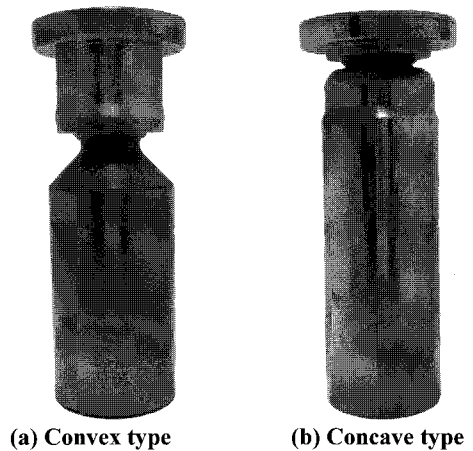


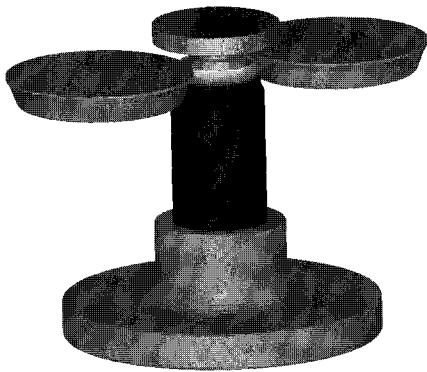
Fig. 1 Two types of piston assemblies

에 매우 불리하고, 성형 공정에서 활용할 수 있는 공간도 매우 협소하며, 슈의 형상도 장애가 된다.

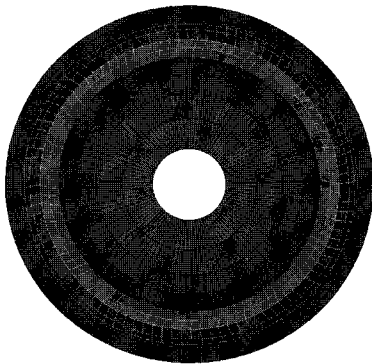
실린더 블록에 장착되어 운용 중인 피스톤 조립체의 주요 하중은 피스톤이 볼을 밀어내는 방향, 즉 피스톤이 볼을 압축하는 방향으로 작용한다. 따라서 오목형 피스톤 조립체의 경우, 슈의 반대 쪽의 볼-소켓 접촉면의 접촉률이 양호해야 하며, 이 접촉률이 정량적으로 규제되어 있다. 슈쪽의 볼-소켓 접촉면의 접촉률은 상대적으로 덜 중요하지만, 슈와 피스톤 사이의 유격량은 규제되어 있으며, 원활한 회전 운동이 가능해야 한다. 그리고 슈와 피스톤을 분리하는데 필요한 최대 하중이 규제되어 있다. 최대 하중이 재료의 변형률에 영향을 받으므로 제조공정과 무관하다고 할 수는 없으나 큰 줄기는 사실상 설계 단계[1]에서 결정되므로 체결 공정에서 우선적으로 고려해야 할 사항은 유격량, 동심도, 볼과 소켓의 접촉률 등이다.

운용 중 피스톤 조립체의 파손은 전체 유압펌프의 심각한 고장으로 연결되므로 진술한 규제의 수준이 일반적인 볼과 소켓 연결보다 매우 높다. 일반적인 볼과 소켓 연결은 범용 장비와 간단한 치구를 이용함으로써 만들어질 수 있으나, 오목형 피스톤 조립체의 요구 정도를 맞추기 위해서는 전용 장비의 개발이 불가피하다. 본 연구에서는 비교적 정교한 체결 목적에 효과적인 회전성형 공정을 선택하였다.

선행연구[13]에서 2개 이상의 롤을 사용할 경우 성형공정이 안정적임을 확인하였다. 실제 3개 롤을 사용할 경우, 장치의 안정성이 향상될 것으로



(a) Socketing process

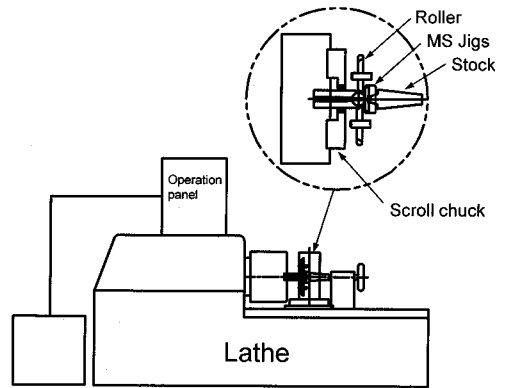


(b) Analysis results

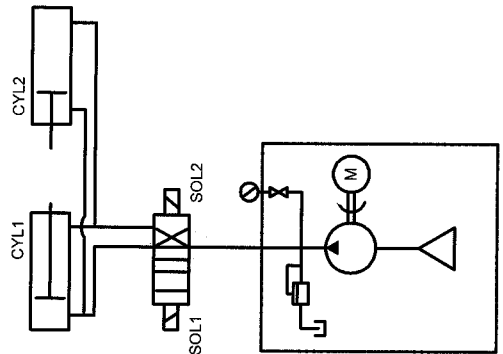
Fig. 2 Simulation results of the double-roll rotary forming process

예상은 되지만 공간상의 제약으로 2개의 롤을 사용하였다. 그 대신 스프링들에 장착된 척이 피스톤을 견고하게 지지하도록 하였다. 장비의 개발에 필요한 정보의 획득을 위하여 성형 공정 시뮬레이션을 실시하였으며, 그 결과를 Fig. 2에 나타내었다. 해석 결과 피스톤에 약 3000 N의 최대 축력이 작용하였으며, 최대의 롤 압하력(Roll separating force)은 5000N으로 나왔다. 이러한 정보를 바탕으로 장치의 구조를 설계하였다.

본 연구에서 개발한 성형장치의 구성도를 Fig. 3에 나타내었다. 성형장치는 범용 선반, 롤 시스템, 유압 장치 등으로 구성되어 있다. 체결공정은 피스톤의 회전 운동과 롤의 이송 운동으로 이루어져 있다. 롤은 편으로 연결되어 있어 자유로운 회전이 가능하지만, 자체적으로 동력원을 갖고 있지 않다. 피스톤의 하단은 선반의 스프링들 척에 장착되어 회전운동을 하며, 롤은 유압시스템에서 부가



(a) The developed equipment



(b) Roll driving hydraulic system

Fig. 3 Schematic diagram of the developed equipment

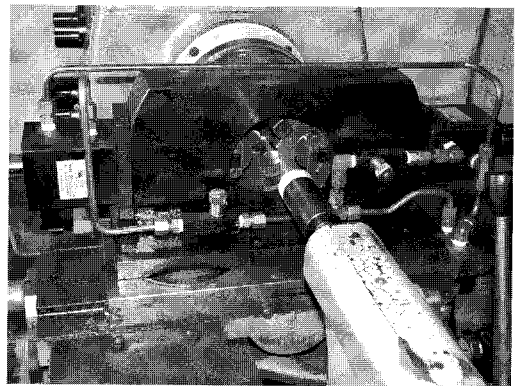
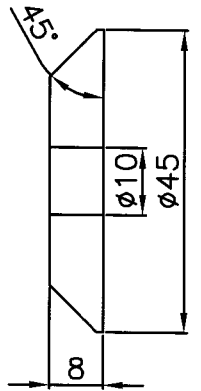
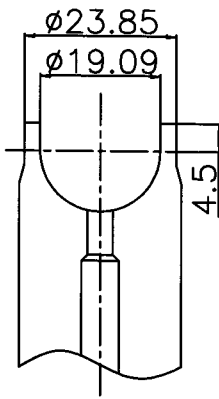


Fig. 4 The developed equipment

된 하중에 의하여 제어되며 속도의 제어가 가능하다. 성형 중 선반의 심압대는 슈에 압축력을 가하여 슈와 피스톤이 성형 초기에 접촉을 유지하도록 하였다. 성형의 종료 시점은 리미트 스위치(Limit switch)를 이용하여 인식한 롤의 위치로 판



(a) Test roll shape



(b) Test preform shape of the socket

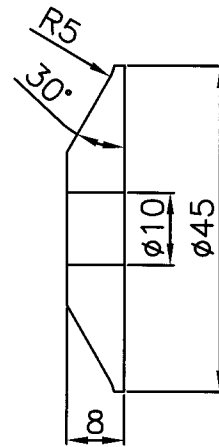
Fig. 5 Test roll shape and preform shape of the socket

단한다. Fig. 4에 개발한 성형장치의 핵심 부분을 사진으로 나타내었다.

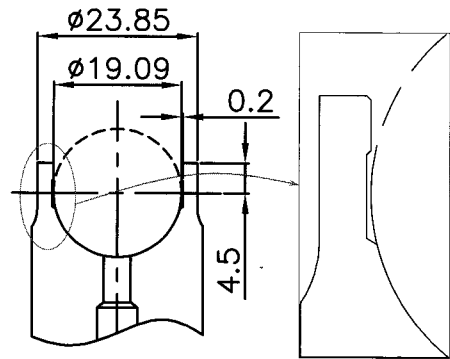
3. 공정적용

개발된 시스템의 구조적 안정성을 평가하기 위하여 Fig. 5와 같이 단면이 직선인 시험 볼을 사용하여 시험을 실시하였다. 먼저 개발된 장치에서 하나의 롤을 정지한 상태에서 시제품을 제작해 보았다. 그 결과, 슈와 피스톤 사이의 유격량이 $0.35 \pm 0.07\text{mm}$ 에 분포하고 있어, 제품의 치수 산포가 매우 크게 나타났다.

Fig. 5(a)의 시험 볼 두 개를 양 단에 설치하여 사용할 경우, 유격량은 $0.15 \pm 0.03\text{mm}$ 에 걸쳐 분포하며 비교적 고른 분포를 나타내고 있다. 즉, 개발된 장치가 두 개의 롤을 사용할 경우 구조적으로 안정되어 있음을 확인하였다. 그러나 Fig. 5



(a) Improved roll shape



(b) Improved preform shape of the socket

Fig. 6 Improved roll shape and preform shape of the socket

의 롤을 사용할 경우, 허용 유격량 0.05mm 를 만족하는 피스톤 조립체의 제작은 불가능하였다. 그 원인은 다음의 두 가지로 요약된다. 첫째는 소켓팅 공정(Socketing process)에서 기계가공된 피스톤의 반구가 피스톤의 상부, 즉 소켓 성형부의 소성 변형에 영향을 받아 성형 중 볼과 반구가 접촉상태를 유지하지 못함으로 인하여 유격량이 커진다고 판단된다. 둘째는 구와 소켓이 과도한 밀착 상태에서 성형이 실시된 후에 발생하는 탄성회복량이 과도한 점도 하나의 원인이라고 판단된다.

이러한 점에 착안하여 소켓 성형부와 피스톤 반구 사이의 변형을 단절시키고 성형 종료 시점에서 볼과 소켓 성형부 사이에 과도한 접촉을 방지시키기 위하여 Fig. 6의 개선된 롤 형상과 개선된 소켓 형상을 설계하였다.



Fig. 7 Cross-sectional view of the developed concave piston assembly

Fig. 6(a)의 개선된 롤의 형상과 소켓의 형상을 이용하여 시제품을 제작한 결과, 유격량은 0.02-0.05mm 범위에 들어 왔으며, 장치의 개량을 통하여 유격량을 더욱 엄격하게 통제하는 것이 가능하다고 사료된다. Fig. 7에 제품의 단면 사진을 나타내었으며, 조립된 제품을 Fig. 1(b)에 나타내었다.

4. 결 론

본 논문에서는 볼과 소켓의 정밀 체결을 위한 장치와 공정설계 방안을 제시하였다. 제시된 장치는 일종의 회전성형 장치이며, 범용 선반에다 롤 시스템이 부착되어 있다. 공작물이 선반의 스피들에 고정되어 회전하며, 롤은 유압 시스템에 의하여 공작물의 중심선에 수직한 방향으로 이송되면서 점진적으로 성형이 이루어지도록 되어 있다. 성형 중 공작물이 안정적으로 회전 운동을 할 수 있도록 하기 위하여 두 개의 롤을 사용하였다. 개발된 장치는 제품의 균질성 평가를 통하여 안정적임을 확인하였다.

개발된 장치를 이용하여 롤의 형상이 슈와 피스톤의 유격량 등에 미치는 영향을 조사하였다. 탄성회복에 기인한 유격량을 최소화시키기 위한 방안으로 피스톤이 작동 중일 때 볼과 소켓 경계면 중에서 접촉 하중이 크게 작용하지 않는 슈 쪽 경계면의 접촉률을 낮게 하는 방안을 제시하였다. 그리고 성형 영역의 확산 차단 목적으로 설치한 소켓 내부의 홈의 영향을 확인하였다.

본 논문에서 제시한 피스톤 조립체 체결을 위한 회전성형 장치의 개념은 관련 제품의 양산 목적으로 활용될 수 있을 것으로 사료된다.

후 기

본 연구는 (사)경상대 수송기계부품기술혁신센터, 산업자원부의 지역혁신 인력양성사업의 지원으로 실시된 연구 결과의 일부임.

참 고 문 헌

- [1] 엄재근, 이민철, 최인수, 조유중, 전만수, 2006, 유한요소법을 이용한 고압유압펌프용 오목형 피스톤 조립체의 소켓 형상 설계, 대한기계학회논문집 A권, 제30권, 제11호, pp. 1433~1438.
- [2] H. X. Su, K. Kawai, M. Hayama, 1991, Deformation mechanism in ring rotary forging of rings, JSTP, Vol. 32, No. 361, pp. 207~213.
- [3] M. Hayama, 1992, New rotary forming: Theoretical and application, Tokyo, Japan, pp. 55~122,
- [4] D. J. Yoon, S. Choi, K. H. Na, J. H. Kim, 1995, Simulation of rotary forging process by model material technique, KSTP, Vol. 4, No. 1, pp. 9~16.
- [5] C. Hayashi, T. Yamakawa, 1997, Influence of feed and cross angle on rotary forging effects and redundant shear deformation in rotary piercing process, ISIJ International, Vol. 37, pp. 146~152.
- [6] K. Toda, T. Ishii, S. Kashiwagi, T. Mitarai, 2001, Development of hub units with shaft clinching for automotive wheel bearings, KOYO Engineering Journal, English Edition, No. 158E, pp.26~30.
- [7] N. Cho, N. Kim, T. Altan, 2003, Simulation of orbital forming process using 3-D FEM and inverse analysis for determination of reliable flow stress, 3rd JSTP International Seminar on Precision Forging, May 12-15, Nagoya, Japan.
- [8] S. Katayama, M. Kakiuchi, T. Kawabe, T. Wada, 2003, Metal flow behavior to fill grooved die by rotary forging, JSTP, Vol. 44, No. 508, pp. 58~62.
- [9] S. Katayama, T. Kakiuchi, T. Wada, 2003, Rigid-plastic FEM analysis of deformation property in rotary forging, JSTP, Vol. 44, No. 513, pp. 38~42.
- [10] I. Hirohide, K. Takeyasu, 2001, Development of hub unit bearing with swaging, NSK Technical Report, Vol. 10, pp. 9~14.
- [11] 문호근, 정재현, 전만수, 2003, 회전단조공정 해석기술 개발, 제8회 한국소성가공학회 단조 심포지엄, pp. 63~76.

- [12] H. K. Moon, M. C. Lee, J. H. Chung, M. S. Joun, 2005, Finite element analysis of a rotary forging process for bearing assembly, Proc. of the 8th ICTP, Verona, p. 333.
- [13] 이민철, 엄재근, 전만수, 2006, 오목형 피스톤 조립체의 볼과 소켓의 체결을 위한 점진적 성형공정의 유한요소해석, 한국소성가공학회 춘계학술대회 논문집, pp. 353~358.
- [14] 전만수 외 6명, 2006, 컨케이브형 피스톤 제조 기술 개발, 연구보고서.