

자동차 조향장치용 소켓의 온간단조 공정 설계를 위한 3차원 유한요소해석

이영선* · 이정환* · 이준용** · 배명환**

3D FEM Analysis of Warm Forging Process Design for Socket at Automotive Steering Unit

Y. S. Lee, J. H. Lee, J. Y. Lee and M. H. Bae

Abstract

In keeping with the needs of the times for energy and labor saving and simplifying production processes, interests has been growing in warm forging. Moreover, it is interested in increasing the material usage and production amounts. To improve the productivity and material usage, it is studied the process design of warm forging for socket. Until now, socket is manufactured by hot forging in hammer. The percentage of material usage is under 60% in hammer forging. On the other hand, the percentage can be increased over 90% in warm forging. To change the process from hot forging to warm forging, process designs must be performed. In this time, by using the FEM package, DEFORM-3D, we could get the shape of 1st process and minimum sealing pressure. They are very essential design data to decrease the trial and error. Practically, the overlap defect could be detected and eliminated with design modification of rib height and fillet radius. Moreover, forging load and minimum sealing pressure was defined by the 3D FEM analysis.

Key Words : Ball Joint, Socket, Warm Forging, FEM Process Design, Sealed Die Forging

1. 서론

냉간과 열간의 중간온도(300~800°C)에서 가공하는 온간 단조는 단조품의 정형제조를 위한 공정으로 많은 연구가 진행되고 있다. 온간단조는 냉간 단조와 비교하여 하중과 에너지의 경감, 인산염 피막 처리가 불필요하며, 소재의 변형저항이 감소할 뿐 아니라 변형능이 향상되어 복잡한 형상의 제품과 고탄소강 등과 같은 가공이 어려운 소재도 성형 가능한 것 등의 장점을 가지고 있다. 열

간 단조와 비교해서는 우수한 치수 정밀도를 얻을 수 있으며, 기계가공량을 줄일 수 있고 제품 취출(Knock Out) 시 큰 하중을 받게 되지만 열간단조에 비해 성형품의 변형강도가 크기 때문에 변형이 발생하지 않으므로 0°의 빼기구배(Draft Angle)가 가능한 것 등의 특징을 가지고 있다.

또한, 열간 단조에서는 스크랩이 투입 재료의 20~40% 범위로 발생하는데 비해, 온간 단조에서는 3~8%로 현저하게 감소하여 재료회수율이 열간 단조에 비해 향상

* 한국기계연구원 재료공정연구부

** (주)센트랄 기술연구소

된다. 또한, 온간단조는 냉간단조에 비해 재료의 가공 경화 현상이 적으므로 다단 트랜스퍼(Transfer)방식과 공정 자동화에 유리하기 때문에 생산성을 향상시킬 수 있는 공정이다. 본 연구의 개발 대상 부품은 볼 스테드와 볼 조인트 소켓이 조립되어 한쌍을 이루는 것으로, 볼 스테드는 냉간포머 공정을 이용하여 대량 생산이 가능하게 되었지만, 볼 조인트 소켓은 형상적인 제약 조건 때문에 열간단조로 제조되고 있어 생산성 저하로 인한 병목현상이 발생되고 있어, 온간단조 공정을 개발하여 대량생산의 기틀을 만들하고자 하였다. 온간 단조의 장점을 구현하기 위해서는 열간단조에 비해 상대적으로 높은 하중과 유동 특성의 변화를 고려하여 단조공정을 설계해야 하며 금형 강도 설계 및 가공 정밀도 조건은 냉간단조 수준을 만족하는 것이 중요하다. 본 연구에서는 유한요소해석을 이용하여 각 공정간 소재의 유동 특성을 분석한 후 각각의 공정과 금형을 설계하였다. 해석은 단조용 상용 프로그램인 DEFORM-3D를 이용하였으며 비등온(Non- Isothermal) 조건으로 온간단조 공정시의 공정 설계 변수의 영향을 분석하였다.

2. 해석 대상품 및 공정

2.1 개발대상품

본 연구에서 개발 하고자 하는 볼 조인트 소켓은 자동차 조향장치에 사용되는 부품으로 볼 스테드와 조립되는 상대 부품이다. Fig. 1은 볼 조인트 소켓의 형상을 나타내는 모델이다.

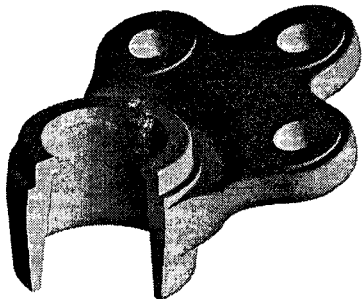


Fig. 1 The appearance of socket body

2.2 해석 대상 공정

해머를 이용하여 열간단조로 제조되던 기존 제조 공

정과는 달리 온간 트랜스퍼에 의해 단조가 원활히 이루어지기 위해서는 다단계의 공정이 필요하다. 본 연구에서는 4공정을 이용할 수 있는 트랜스퍼 프레스를 이용할 경우에 1공정(Upsetting)로부터 2공정(Bakward Extrusion)와 3공정(Sizing), 피어싱(Piercing)공정을 거쳐 최종 단조품이 제조되며, 변형량이 큰 1공정의 형상 설계가 가장 중요한 변수로 작용한다. 따라서, 본 연구에서는 1공정의 형상 설계를 위해 3차원 해석을 수행하였다. 해석의 목적은 결함이 발생되지 않는 형상 설계와 폐쇄 단조를 위해 필요한 최소 배압력을 예측하는데 있다. Fig. 2는 해석에 사용된 최종 제품과 공정별 제품의 외관을 나타내고 있으며 Fig. 3은 1공정의 Modelling 형상으로 금형 예열온도는 (SKD61)250℃이고, 단조소재인 AISI1045는 850℃로 가정하였다.

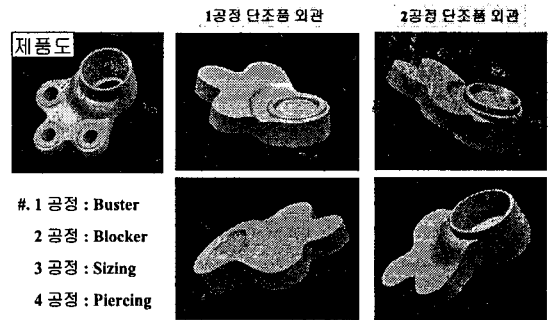


Fig. 2 The process design of socket

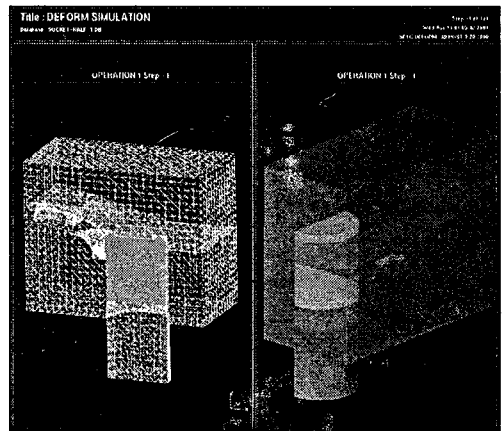


Fig. 3 FEM model of 1st process

3. 해석 결과

3.1 1공정 형상 설계

DEFORM-3D를 이용하여 해석한 첫 번째 모델의 변형 과정은 Fig. 4와 같다. 그림에서 알 수 있듯이 1공정 공정은 원통형의 빌렛(Billet)으로부터 한쪽 방향으로 유동이 이루어지는 엠세팅 모드(Upsetting Mode)로 부위별 변형율에 많은 차이를 나타내고 있다. 또한, Fig. 5의 "A" 부위는 경사진 플랜지(Flange) 부위로 유동되기 시작하면서 상부 리브부로 유동이 이루어져야 하기 때문에 동일한 리브부라 하더라도 금속 흐름이 원활하지 않을 수 있는 부위이다. 따라서, 동일한 리브 부위라 하더라도 "A"부위에서 결함이 발생되지 않도록 적절한 형상 설계가 필요하다.

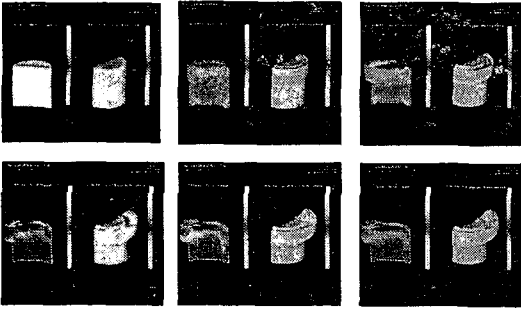


Fig. 4 The effective strain and temperature distribution of warm forged part at each step in 1st process

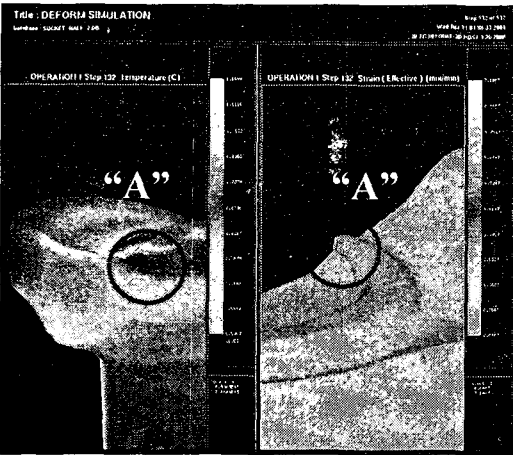
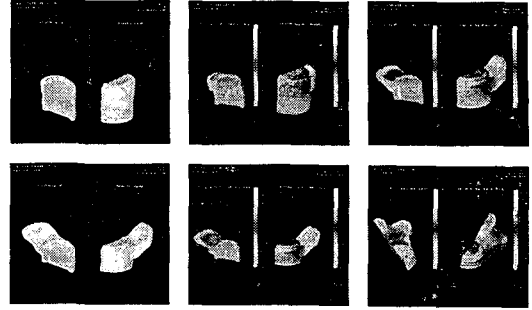
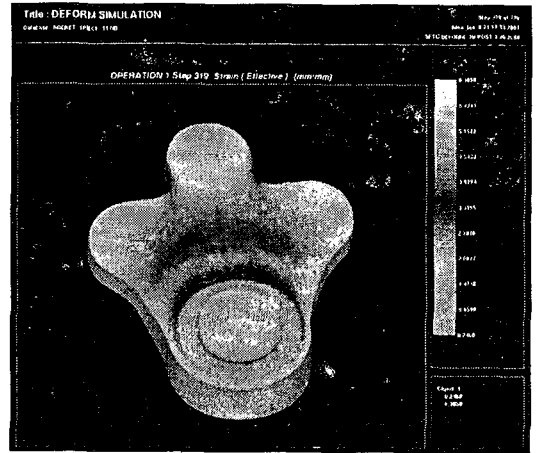


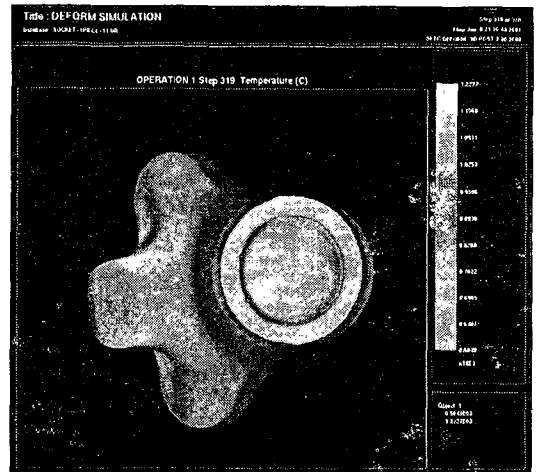
Fig. 5 The overlap defect resulted in inappropriate 1st process design



(a) Deformation patterns



(b) Effective strain



(c) Temperature distribution

Fig. 6 The FEM analysis result in appropriate design

Fig. 5는 1공정 형상 설계가 적절하지 못해 발생된 겹침(Overlap)현상을 보여주고 있다. 따라서, 2차로 수행한 해석에서는 “A”부위의 결합 발생을 제거하기 위해 리브 높이를 7mm에서 5mm로 낮추고 필렛(Fillet) 반경을 R2에서 R3으로 증가시켰다. Fig. 6은 1공정의 형상을 변경하여 수행한 해석 결과로 결합 발생 없이 유동이 원활하게 이루어지고 있음을 알 수 있다. 1공정 공정 동안에 발생하는 유효변형률은 부위별로 0.6~6.3, 온도 분포는 560℃~1,220℃로 많은 차이를 보이고 있으며, 이는 원통형 빌렛이 경사진 플랜지지만 유동되기 때문이다. 따라서, 적절한 변형률 분포와 온도 분포를 얻기 위해, 1공정 공정에서 성형하는 플랜지 부위의 형상을 축소시킬 필요가 있음을 알 수 있다.

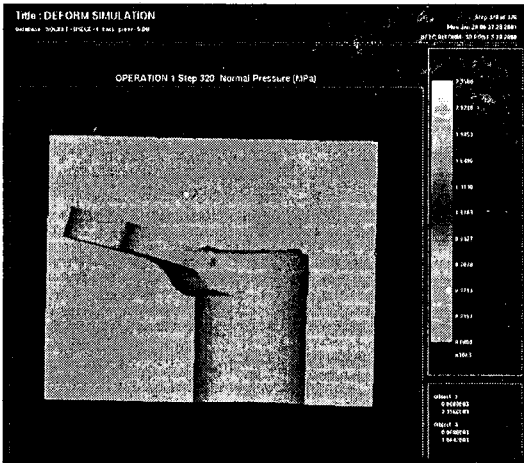


Fig. 7 The minimum sealing pressure by FEM analysis

3.2 폐쇄단조를 위한 폐쇄력 선정

1공정 공정은 약 300톤의 하중이 소요되었으며 폐쇄 단조를 위해 필요한 폐쇄장치의 설계를 위해 금형의 최소 폐쇄력을 계산하였다. 전술한 바와 같이 소켓은 1공정과 2공정 공정에서 거스러미(Flash)가 발생되면 다음 공정에서 겹침 현상이 발생되므로 폐쇄 단조 공정을 이용해야 한다. 최소 폐쇄압의 예측은 폐쇄유압장치의 설비 선정과 가압용 실린더의 크기를 결정하는 데 이용되므로 금형 및 다이세트 설계를 위해 매우 중요한 설계 변수이다. 또한, 폐쇄압의 크기에 따라 폐쇄장치용 가압 장치의 종류를 선정해야 하므로 폐쇄 단조 공정 설계에

필요한 중요한 설계 인자이다. 이러한, 변수는 시행오차로 해결하기에는 비용과 시간면에서 곤란하므로 유한요소해석을 이용하여 설계하는 것이 매우 유용한 수단이라 할 수 있다.

Fig. 7은 1공정 공정에서 금형에 작용되는 면압의 크기를 나타내는 것으로 1공정 공정시 배압력은 최소 110Mpa이 필요한 것으로 예측되었다.

후 기

본 연구는 선도기술개발사업(G7)인 (주)센트랄의 “고정밀 지능형 성형 가공 시스템”의 위탁과제로 수행되었으며, 이에 관계자 여러분께 감사드립니다.

4. 결 론

소켓의 온간단조 공정 및 금형 설계에 3차원 유한요소해석을 이용한 연구결과는 다음과 같다.

- (1) 온간 폐쇄 단조를 위해 수행한 해석 결과 플랜지 부위뿐만 유동이 이루어지는 형태로 인해 단조품의 부위별 변형률과 온도 분포가 불균일하며, 미소한 형상 차이에 의해서도 결합이 발생될 수 있음을 알 수 있었다.
- (2) 폐쇄형 단조 금형 설계에 필요한 최소 폐쇄력기준은 유한요소해석을 통해 선정할 수 있으며, 소켓의 온간 단조용 폐쇄압은 최소 110 Mpa 이상이 되어야 함을 알 수 있었다.

참 고 문 헌

- (1) S. Shejaskov, Journal of Materials Processing Technology, Vol.46 (1994) p.3
- (2) 일본단조 기술 연구소 보고서, 溜間 そく 鍛造の 研究, 1985
- (3) 坂口英雄, 鍛造技報, Vol.34, 1988, p. 46
- (4) 吉村 治, 島崎定, 塑性と加工, Vol.24, 1983
- (5) Hirschvogel, J. Mat. Proc. Tech. Vol.35, 1972
- (6) 이영선, 이정환, 정순철, 배명한, 2000, “볼 조인트 소켓 바디 온간단조 공정 설계”, 대한기계학회 2000년도 추계학술대회논문집 p. 110,