

자동차용 피스톤-핀의 유동결함 방지를 위한 공정설계

이동주* · 김동진** · 김병민***

Process Design to Prevent Flow Defect of Piston-pin for Automobile

D.J. Lee, D.J. Kim, and B.M. Kim

Abstract

Flow defect of a piston-pin for automobile parts is investigated in this study. In cold forging of piston-pin, Lapping defect, a kind of flow defect, appears by the dead metal zone. This appearance evidently happens in products with a thin piercing thickness for the dimension accuracy and the decrease of material loss. The best method that can prevent flow defect is removing dead metal zone. The finite element simulations are applied to analyze the flow defect. This study propose processes for preventing flow defect by removing dead metal zone. Then the results are compared with the experiments for verification. These FE simulation results are in good agreement with the experimental ones.

Key Words : Flow defect, Lapping, Material flow control, Forward-backward extrusion, FE simulation, Dead metal zone

1. 서 론

금속의 냉간성형 공정은 제품의 치수정도가 좋고 양호한 표면조도 및 기계적 성질을 얻을 수 있으므로 자동차 부품 등의 제품생산에 많이 사용하고 있다. 그러나 제품의 형상, 성형조건, 소재의 성형성, 재료의 유동양상에 따른 변형이력 등에 따라 결함이 발생할 가능성이 있다. 냉간성형공정에 있어서 대표적으로 나타날 수 있는 결함에는 불안정한 금속유동에 의한 유동결함과 응력상태와 변형이력에 따른 연성파괴, 금형형상 및 윤활조건 불량

등에 의한 치수정밀도 불량이 있으며, 소재내부의 중심축 선상에 파괴가 일어나는 내부결함과 소재표면의 균열이나 소재 끝 부분에 구멍이 생기는 파이핑 결함(piping defect)과 같은 외부 결함으로 구분할 수 있다⁽¹⁾. 이러한 결함은 제품의 수명 저하와 제품의 생산단가 상승의 원인이 되므로 초기 공정설계 단계에서 결함을 예측하고 방지하는 것이 중요하다.

Wifi 등⁽²⁾은 유한요소해석을 통하여 연성파괴에 대한 여러 성형관계식을 적용하여 체적성형 한계에 대하여 연구하였고 Kim 등⁽³⁾은 유한요소해석을 통하여 이중리브를

* 부산대학교 대학원 정밀기계공학과
** 부산대학교 대학원 기계설계공학과
*** 부산대학교 정밀정형 및 금형가공 연구소

가지는 냉간 압출품의 성형에 있어서 발생하는 내·외부 결함에 대하여 연구하였다.

본 연구에서는 자동차 피스톤핀을 대상으로 하여 제품의 성형시 발생하는 결함을 초기 공정설계 단계에서 유한요소해석을 통하여 예측하고 유동결함을 없앨 수 있는 공정을 설계하였다. 이를 바탕으로 결함이 발생하지 않는 공정을 선정하여 실험과 비교, 검증하였다.

2. 결함의 발생원인 및 유한요소 해석

2.1 결함의 발생

피스톤 핀은 피스톤이 받는 압력을 커넥팅 로드를 거쳐 크랭크 축에 전달함과 동시에 피스톤을 따라 실린더 안에서 고속 왕복운동을 한다. Fig. 1에 피스톤 핀의 피어싱 전의 형상과 치수를 나타낸다. 피스톤 핀에 사용되는 재료는 SCM 415H 니켈 크롬강이며 소재에 대해 압축실험을 수행하여 다음과 같은 응력-변형률 관계식을 얻었다.

$$\bar{\sigma} = 768.06 \bar{\epsilon}^{0.139} \quad (Mpa) \quad (1)$$

소재와 금형간의 마찰은 원소재를 인산염 피막처리 후 본드루베(bond rube) 윤활 처리를 하여 마찰상수 값이 0.1이었다.

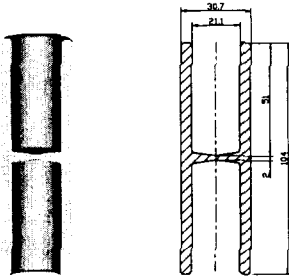


Fig. 1 Shape and dimension of piston-pin

기존의 공정은 펀치의 수명과 제품의 치수정밀도 향상을 위해 절단결함을 없애는 1공정, 2공정에서의 업세팅 공정과 3공정에서의 전방압출 또는 후방압출로 웨브를 중심으로 한쪽을 먼저 성형하고 4공정에서의 후방 압출로 다른 한쪽을 성형한 다음 마지막 5공정에서 피어싱으로 최종제품을 성형하였다. 그러나 기존의 공정으로 성형실험을 실시한 결과 피스톤 핀의 중앙 웨브를 중심으로 먼저 성형된 부분에 Fig. 2와 같은 결함이 발생하였다. 특히 결함부에 급격한 유동의 변화를 관찰할 수 있었는데

유동결함으로 생각되었다.

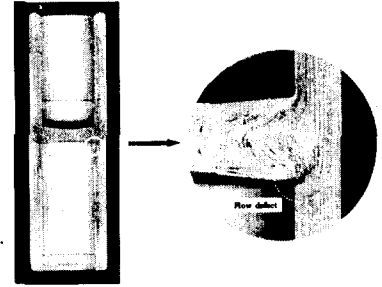


Fig. 2 Photograph of flow defect for piston-pin

2.2 결함의 유한요소해석

피스톤 핀 성형 시 나타나는 결함을 해석하기 위하여 상용 강소성 유한요소 프로그램인 DEFORM을 이용하였다. 직경이 30mm, 높이가 61mm인 원형소재를 이용하여 기존의 공정대로 성형해석을 수행하여 T. Altan등⁽⁴⁾이 제안한 소재의 유동선 추적에 하였다. Fig. 3에 펀치의 행정이 진행됨에 따른 소재의 유동선의 변화를 나타낸다. 유동선 추적결과 실험에서 나타난 결함부와 동일한 곳에서 소재의 유동이 급격하게 변화하여 소재내부로 유동선이 말려 올라감을 볼 수 있었다. 이것은 기존의 공정으로 성형시 3공정에서 성형이 완료된 부분이 4공정에서 비성형 영역이 되어 소재의 유동이 제한되고 웨브의 소재가 리브부로 말려 들어가는 현상 때문에 발생된다. 이러한 결함은 제품의 강도 및 수명에 악영향을 미치므로 결함을 방지할수 있는 새로운 공정이 필요하다.

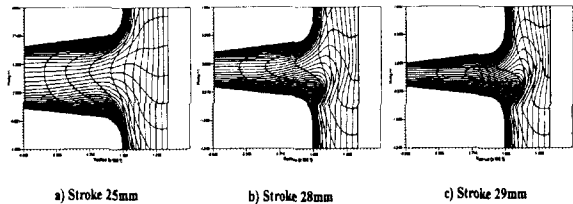


Fig. 3 Flow lines of part where defect occurred according to each stroke

3. 공정 설계 및 실험

3.1 결함방지를 위한 공정의 재설계 및 해석

피스톤 핀과 같이 양방향 압출품에 발생하는 유동 결함의 원인을 데드메탈 영역에 의한 소재유동의 제한에 의한 것으로 파악하고 결함의 방지를 위해 공정을 전·후방 동시 압출 공정으로 변경하였다. 그러나 전후방 동시

압출의 경우 전·후방부의 압출비와 압출길이에 따라 어느 한쪽이 먼저 성형을 완료하기 때문에 기존의 공정과 마찬가지로 이 시점을 기준으로 하여 데드메탈 영역이 발생하고 이로 인한 유동결합이 발생한다. 따라서 데드메탈 영역을 없앨 수 있는 전·후방부 동시성형을 위한 새로운 공정이 필요하여 다음의 세가지 공정을 제안하였다.

3.1.1 예비성형체 재설계

전·후방부의 압출 길이가 동일하고 동시에 성형을 완료시키기 위해 양방향 압출을 하기 전에 개방형 압출을 실시한 결과 후방압출부가 약 24.9mm가 많이 성형되었다. 따라서 세 번째 공정에서 전방압출부의 길이를 24.9mm만큼 먼저 성형하여 성형해석을 수행하였다. Fig. 4에 최종단계에서의 유동선을 나타낸다. 유동선 추적결과 유동결합이 발생하는 영역에 소재의 유동이 완만함을 알 수 있었다. 이것은 전체성형 공정동안 소재가 데드메탈 영역 없이 전체적으로 균일하게 유동했기 때문이다.

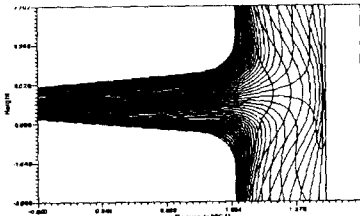


Fig. 4 Flow line of web part, in the case of using preform

3.1.2 금형의 스트리퍼 재설계

금형의 구조를 변경하여 전·후방부로의 성형이 동시에 완료되도록 후방압출부의 소재 유동을 지연시키는 방법을 제안하였다. 이 경우 양방향 동시성형과 전·후방부로의 압출길이를 동일하게 하기 위해 금형에 스트리퍼 (stripper)를 재설계 하였다. 이때 일반적인 포머에서 사용되는 고정식의 스트리퍼를 사용하게 되면 역시 성형의 후기에 후방압출부의 소재의 유동이 제한되어 데드메탈 영역이 발생한다. 따라서 스프링력을 이용하여 길게 성형되는 후방압출부의 유동을 제한하는 구조를 사용하였다. Fig. 5에 금형의 구조를 나타낸다. 전·전후방부의 길이를 동일하게 하기 위해 필요한 스프링력을 유한요소 해석을 통해 구한 결과 5ton이었다. Fig. 6에 최종단계에서의 유동선을 나타낸다. 이 경우 역시 기존의 유동결합 발생영역에서의 소재의 유동이 완만하게 분포함을 알 수 있다.

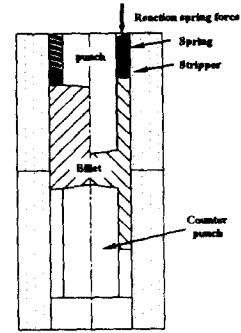


Fig. 5 Schematic draw of using stripper die structure with spring

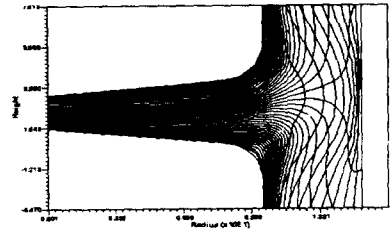


Fig. 6 Flow line of web part, in the case of using stripper

3.1.3 압출 컨테이너 구동

제품을 같은 길이로 동시에 충만시키기 위해 Fig. 7과 같이 압출 컨테이너를 구동⁽⁵⁾하는 구조를 사용하였다. 먼저 성형이 완료되는 방향과 반대 방향으로 압출 컨테이너를 구동하여 먼저 성형이 완료되는 부분의 소재 유동은 제한하고 반대로 성형이 늦게 완료되는 방향으로 소재의 유동을 원활히 하여 동시에 성형을 완료시키기 위한 구조이다. 본 연구의 대상인 피스톤 핀의 경우에는 전·후방 동시 압출 시 후방압출부가 먼저 성형이 완료되기 때문에 컨테이너의 구동방향은 펀치의 구동방향과 동일한 방향으로 하였다. 이 경우에 있어서 양방향으로 동시에 성형을 완료시키기 위해서 가장 중요한 변수는 펀치와 컨테이너의 상대 속도비와 소재와 압출 컨테이너 사이의 마찰이다. 본 연구에서는 소재와 금형간의 마찰값 m 은 0.1이기 때문에 상수로 두고 속도비만 변화시켜 해석을 수행하였다. 이때 상대 속도비의 변화에 따라서 결합의 발생 유무가 결정된다. Fig. 8에 펀치 스트로크가 42.7mm에서 상대속도 0.1mm/s, 0.48mm/s, 1.0mm/s 일 때의 소재의 유동선 추적결과를 나타낸다. 상대 속도비 0.48mm/s인 경우에서 전·후방부로의 유동이 균일함을 알 수 있다.

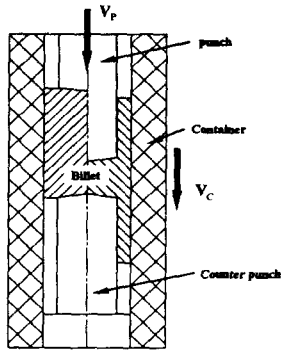


Fig. 7 Schematic draw of axially moving container die structure

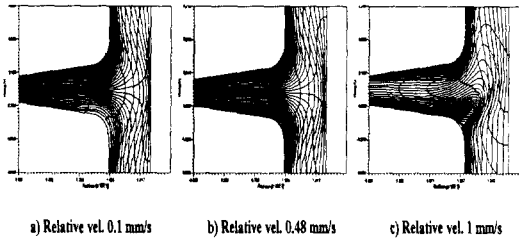


Fig. 8 Comparison of flow lines according to relative velocity

3.2 실험 및 결과

제안된 세 가지 공정 중에 다단 포머를 사용하여 예비성형체를 사용하는 경우에 대해 실험을 수행하였다. 실험은 250ton 다단포머를 사용하였다. Fig. 9에 실험결과를 나타낸다. 최종 피어싱 전의 제품을 절단하여 유동선 관찰용 부식을 통해 유동선을 추적한 결과 유한요소해석과 마찬가지로 전·후방부로의 균일한 유동의 분포를 관찰할 수 있었다.

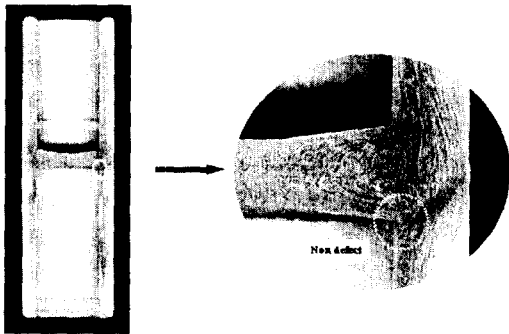


Fig. 9 Photograph of piston pin without flow defect

4. 결론

본 연구에서는 강소성 유한요소 해석을 통하여 자동차 피스톤 핀 부품 성형공정 시 발생하는 결함을 규명하고 결함 방지를 위한 공정을 설계하였다. 재 설계된 공정에 대하여 유한요소 해석과 실험을 수행하여 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- (1) 피스톤 핀 성형시 나타나는 유동결함의 원인은 성형시 발생하는 데드메탈 영역에 의한 것이며 유한요소 해석을 통한 유동선추적으로 결함을 예측할 수 있었다.
- (2) 피스톤 핀 성형 시 발생하는 유동결함을 방지하기 위해 소재의 유동제어를 위한 공정들을 재설계하였다.
- (3) 전·후방동시 압출을 할 경우에 예비성형체의 설계, 금형의 구조 변경, 펀치와 컨테이너의 상대 속도비와 마찰을 이용한 압출 컨테이너 구동을 통하여 제품의 유동결함을 방지할 수 있었다.

후 기

본 연구는 부산대학교 정밀정형 및 금형가공 연구센터를 통한 한국과학기술단의 우수연구센터의 지원금에 의한 것입니다.

참 고 문 헌

- (1) T. Okamoto, T. Fukuda and H. Hagita, 1997, "Material Fracture in Cold Forging -systematic Classification of Working Methods and Types of Cracking in Cold Forging", Source Book on Cold Forging, ASTM, pp.216~226.
- (2) A. S. Wifi, A. Abdel-Hamid, N. El-Abbasi, 1998, "Computer-aided evaluation of workability in bulk forming processes", J. Mater. Process. Technol., Vol.77, pp.285~293.
- (3) 김동진, 김병민, 1999, "이중 리브를 가진 냉간 압출품의 내·외부 결함 방지를 위한 공정설계", 한국소성가공학회, 제 8권, 제 6호, pp.612~619.
- (4) T. Altan and M. Knoerr, 1992, "Application of the 2D finite element method to simulation of cold-forging processes", J. Mater. Process. Technol., Vol.35, pp.275~302.
- (5) Kozo Osakata, Xin Wang and Shinji Hanami, "Forward - Backward Extrusion with Axially Driven Container", J. JSTP, Vol.37, No.30, pp.1154~4479.