

플랜지를 가진 엔진베어링의 성형공정 및 금형 설계

곽인규* · 김형중**

Process and Die Design for the Forming of Flanged Engine Bearing

I. K. Kwak* and H. J. Kim**

Abstract

This study aims at the improvement on the process and die set required for forming of flanged two-piece thrust engine bearings from laminated sheet blanks. Several suggestions are made to reduce the number of forming or subsequent machining processes, or to improve the dimensional precision of formed products. The results of finite element analysis show the design suggested in this study are useful and applicable to the forming process of flanged bearings.

Key Words : Flanged Thrust Engine Bearing, Process and Die Design, Finite Element Analysis

1. 서론

플랜지를 가진 두 조각(two-piece) 한 쌍의 추력(thrust) 엔진베어링은 엔진 블록에 장착되어 크랭크축의 회전을 지지하는 부품으로, 크랭크축의 회전운동에서 발생하는 반경방향 하중뿐만 아니라, 플랜지의 역할로 인하여 축방향의 하중도 동시에 지지하면서 축방향의 미세한 움직임을 방지할 수 있도록 설계되어 있다^(1,2).

엔진베어링은 그 수요 특성상 중소기업에서 소량 다품종 방식으로 생산되고 있기 때문에 공정의 상당부분이 수작업에 의존하고 있거나 필요 이상의 많은 공정을 거치게 되어 생산성이 낮을 뿐만 아니라, 치수 정밀도 불량이나 다듬질 가공시 재료의 과도한 손실 등의 문제점을 가지고 있다. 따라서 현 제조공정을 대폭 개선하거나 새로운 제조기술을 개발할 필요성이 대두되나, 현실적으로는 과도한 추가 투자의 부담없이 이러한 문제점들을 부분적으로나마 해결할 수 있는 방안이 더욱 절실하다고 할 수 있다.

본 연구에서는 플랜지를 가진 추력 엔진베어링의 제조를 위한 성형공정 및 금형의 개선을 통하여 현 공정의 수와 수작업을 최소화하고, 생산성과 치수정밀도 및 재료 수율 증대를 도모하고자 한다.

2. 성형공정 및 금형 설계

2.1 현재 공정

플랜지 베어링을 성형하는데 사용되는 소재로는 강판에 알루미늄판을 압연 압착한 판재('St-Al 압연판재')와 강판에 구리-주석 분말을 소결 압착한 판재('St-Cu 소결판재')가 사용되는데, 두께와 표면 특성의 차이로 서로 다른 성형공정을 거친다. St-Al 압연판재의 제조 공정은 Fig. 1(a)와 같이 압연 압착 및 소재 전단, U-형 예비성형, 플랜지 성형 등으로 이루어지며, 특히 플랜지 성형 금형에 예비성형체를 고건하는 작업은 전적으로 수작업에 의존하고 있다. 또한, St-Cu 소결판재의 경우에는 압연판재와 같은 성형공정을 적용하면 분말 층이 깨지거나 벗겨질 위험이 크므로 Fig. 1(b)와 같이 플랜지부를 먼저

* 강원대학교 대학원

** 강원대학교 기계·메카트로닉스공학부

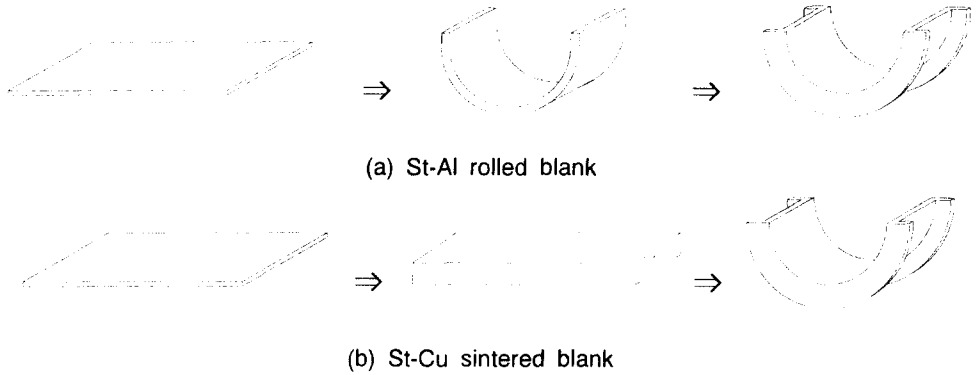


Fig. 1 Forming process of flanged engine bearings from laminated sheet blanks

성형한 후 U-형 굽힘 작업을 행한다. 플랜지 성형과정에서는 플랜지가 접히는 모서리 부분에 필연적으로 필렛이 발생하여 베어링을 하우징에 조립할 때 간섭을 일으키게 되므로 기계가공으로 이를 제거해야 하며, U-형 굽힘 과정에서는 플랜지가 양쪽으로 벌어지고 원통도가 떨어지는 현상이 나타나므로 치수 보정을 위한 사이징(sizing) 작업을 필요로 한다.

2.2 공정 개선 방안

압연판재의 성형 시 U-형 굽힘과 플랜지 성형 사이에 전적으로 수작업에 의존하는 예비성형체 고정 작업을 없애기 위하여 두 가지 공정을 통합한 금형 모델을 제안하였다. 또한, 소결판재의 경우 플랜지 성형 시 모서리의 필렛 발생을 근원적으로 방지하기 위하여 펀치와 소재의 단면 형상을 설계하고, U-형 굽힘에서 플랜지부의 벌어짐을 최소화하기 위하여 후술하는 바와 같이 펀치와 롤러의 모양을 변경한 금형 개선 방안을 제안하였다.

3. 유한요소 성형해석

플랜지 베어링 성형을 위한 현 공정의 문제점을 파악하고, 제안한 공정·금형 개선 방안을 검증하기 위하여 상용 유한요소코드 PAM-STAMP⁽³⁾ 및 DEFORM2D/3D⁽⁴⁾를 사용하여 성형해석을 수행하였다.

3.1 St-Al 압연판재 성형공정

Fig. 2는 플랜지 성형 공정을 해석하기 위한 유한요소(DEFORM3D) 모델이다. 현재 공정 (a)

에서는 전 공정에서 U-형 굽힘 성형된 예비성형체를 수작업으로 플랜징 금형에 장착하고 있으나, 개선 공정 (b)에서는 초기 소재로부터 한 공정에 최종 형상을 성형할 수 있다.

Fig. 3은 성형이 완료된 후의 형상을 나타낸다. 반원호 형상의 끝 부분에 과도한 변형이 발생하나, 이 부분은 다음 공정에서 질단 제거할 것을 고려하여 초기 소재의 길이를 반원호보다 길게 설계하기 때문에 최종제품에는 영향을 미치지 않는다.

3.2 St-Cu 소결판재 성형공정

Fig. 4는 플랜지 성형공정을 해석하기 위한 유한요소 모델과 성형 후의 단면형상을 나타낸다. (a)는 현 공정을 해석한 것으로 플랜지가 시작되는 모서리 부분에 필렛이 발생한 것을 볼 수 있다. 이로 인한 베어링 장착 시의 간섭을 방지하기 위하여는 추가적인 기계가공이 필요하나, 본 연구에서는 펀치에 원형 단면의 돌출부를 만들고, 초기 소재에 미리 적절한 단면 형상의 홈을 가공한 후 플랜지부를 성형하는 공정 개선 방안을 제안하고, 타당성 검증을 위한 DEFORM2D 해석을 수행하였다. (b)는 직사각형 홈을 가진 소재로부터의 시뮬레이션 결과로 간섭의 소지는 없으나 재료의 미충전에 의한 결함이 발생하였다. (c)는 사다리꼴 홈을 가진 소재에 대한 결과로 간섭의 소지와 결함이 없는 성공적인 플랜지 성형이 가능함을 보여준다.

Fig. 5는 U-형 굽힘 공정을 해석하기 위한 유한요소(PAM-STAMP) 모델이다. 펀치가 일정한 속도로 내려올 때 좌우 롤러가 바깥쪽으로 밀

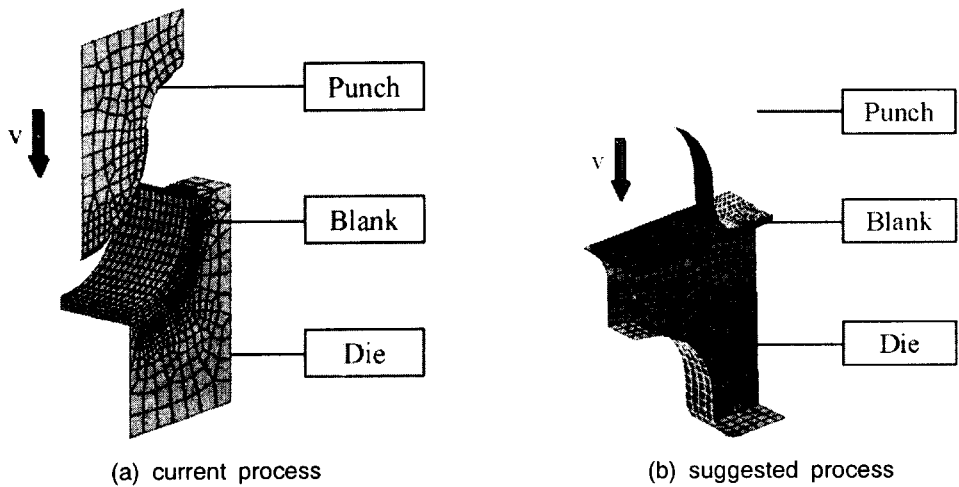


Fig. 2 Finite element models for the flanging process of St-Al blank

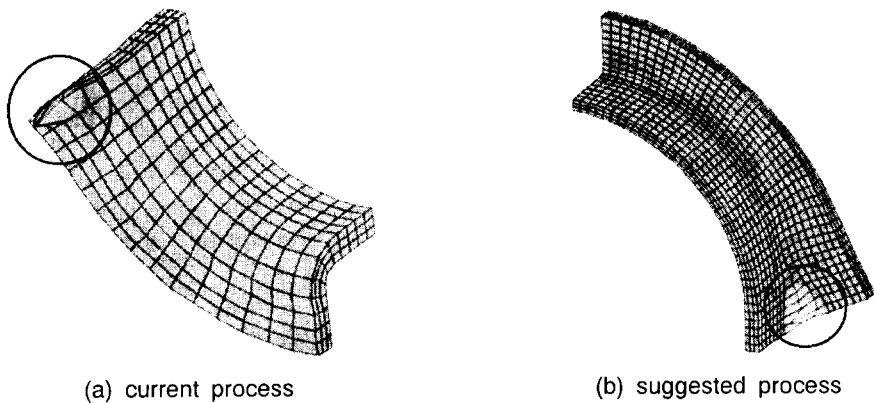


Fig. 3 Deformed shapes of St-Al blanks during flanging process

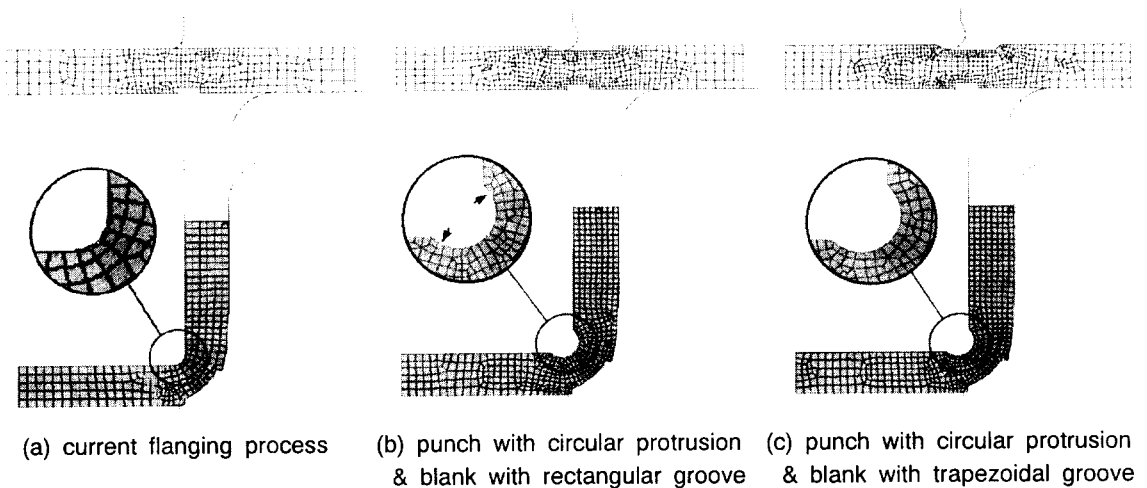
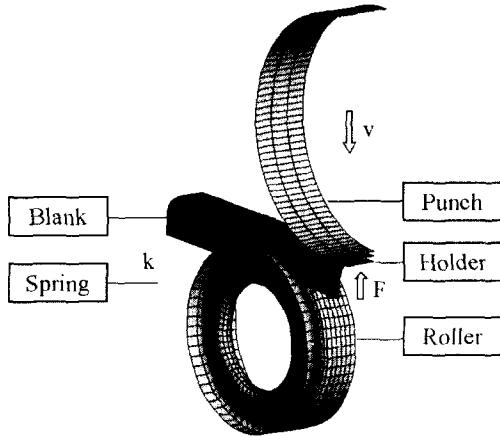
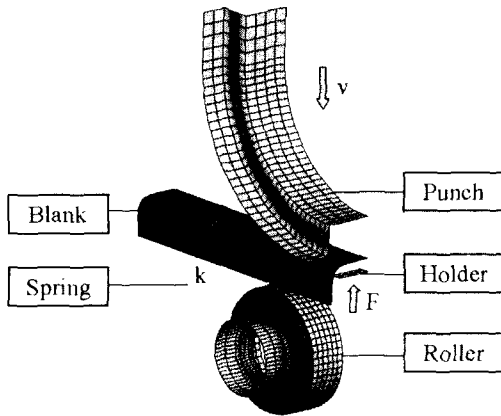


Fig. 4 Finite element models and deformed shapes for the flanging process of St-Al blanks

러나면서 스프링의 반발력으로 소재를 펀치 곡면을 따라 밀어붙이듯이 성형을 하게된다. Fig. 5(a)에 도시한, 현재 공정에서 사용하는 금형으로는 중심부에서 소재의 단면 형상을 완전히 구속하지 못하기 때문에 플랜지가 양쪽으로 벌어지며 치수 불량을 야기하게 된다.



(a) current tool set



(b) suggested tool set

Fig. 5 FE models for simulating the U-bending process of St-Cu blank

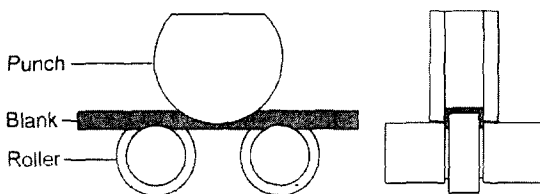


Fig. 6 Suggested tool set for St-Cu blank

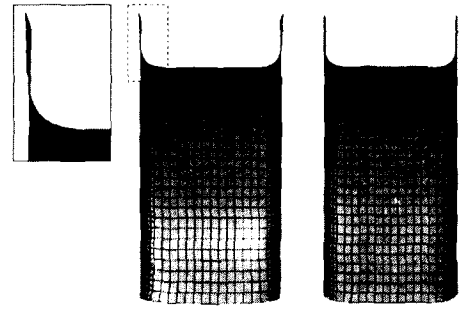


Fig. 7 Computed shapes of the flange section with current (left) and suggested (right) tool sets

본 연구에서는 성형 중 플랜지 단면 형상을 유지할 수 있도록 Fig. 5(b) 및 Fig. 6과 같이 펀치와 롤러에 적절한 형상의 홈을 설계하고, 유한요소 해석을 통하여 그 효과를 검증하였다. Fig. 7은 현재 공정과 개선 공정으로 각각 해석한 결과를 비교한 것으로, 현 공정에서 발생하는 플랜지 벌어짐 현상이 개선 공정에서는 거의 발생하지 않음을 보여주고 있다.

4. 결론

- (1) 강판과 알루미늄 압연판재의 U-형 굽힘 공정과 플랜지 성형공정을 통합하여 수작업을 줄이고 생산성을 향상시킬 수 있는 개선 공정을 제안하였다.
- (2) 강판과 구리-주석 분말 소결판재의 성형을 위한 굽힘을 개선함으로써 제품의 치수 정밀도를 향상시키고 후속 사이징 공정과 기계가공 공정을 줄일 수 있음을 확인하였다.
- (3) 다층소재에 대한 정확한 물성 데이터의 확보와 이를 유한요소해석에 적절히 반영할 수 있는 모델링 작업이 선행되어야 한다.

참고문헌

- (1) J. E. Shigley and C. R. Mischke, 1989, *Mechanical Engineering Design*, 5th Ed., McGraw-Hill
- (2) 최재권, 1992, 엔진 크랭크샤프트 베어링의 최소 유막 두께에 관한 연구, 서울대학교 박사학위논문
- (3) ESI/PSI, 1998, *PAM-STAMP User's Manual*
- (4) SFTC, *DEFORM™ User's Guide*, Ver 5.0