엑슬하우징의 온간 후판단조에서 굽힘 변형된 모서리에서 발생하는 두께 감소 방지를 위하여 고안된 금형 시스템

김장섭¹ · 김기수² · 심상현³ · 엄재근⁴ · 전만수[#]

Die System for Avoiding Thickness Reduction along the Bent Corner in Warm Plate Forging of an Axle Housing

J. S. Kim, K. S. Kim, S. H. Shim, J. G. Eom, M. S. Joun

(Received July 27, 2010 / Revised November 11, 2010 / Accepted November 15, 2010)

Abstract

In this paper, a useful die system for warm plate forging of a large axle housing of heavy-duty trucks is presented. A die system composed of material flow guide pin as well as upper die and lower die is proposed to reduce the inherent thickness reduction along the bent corner of the product which deteriorates structural strength and fatigue life in its service. The role of the pin assembled in the upper die is to prevent formation of sharp corner in early forming stage and to supply material in the lower die cavity sufficient enough to thicken the bent corner at the final stroke. The mechanism of the die system is given and its effect on corner thickness of the product is revealed by two-dimensional finite element analysis under plain strain assumption. Three-dimensional finite element solutions are also given to verify validity of the two dimensional approach and to show the mechanics of the die system in detail. The die system has been successfully applied to manufacturing the axle housing of heavy-duty trucks.

Key Words : Die System, Axle Housing, Plate Forging Process, Thickness Reduction, Warming Forming, Finite Element Analysis

1. 서 론

일반적으로 판재는 냉간 상태에서 성형되는 경우가 대부분이다. 그러나 고강도 재료의 성형이나 복잡한 형상의 제품을 경제적으로 생산하는 목적으로 온간 또는 열간 판재성형 기술이 활용되고 있다[1~3].

최근들어 비교적 두꺼운 판재로부터 제품을 성형하는 경우가 증가하고 있다. 대표적인 제품이 자동변속기용 부품과 엑슬하우징 등이다[4]. 전자

는 주로 냉간상태에서 성형이 이루어지는 반면, 후자는 온간상태 또는 열간상태에서 성형이 이루어지고 있다. 온간 또는 열간 후판단조, 또는 판단조는 두께의 변화가 작은 제품의 제조 측면에서 높은 경쟁력을 지니고 있으며, 생산량이 비교적 많은 기존의 얇은 주강품을 대체해 왔다. 양질의 후판 소재를 사용한 온간 또는 열간 후판단조 품은 주강품에 비하여 강도면에서 유리하며, 이에 따라 자동차회사에서 차미의 관심사인 경량화의 측면과 원가절감의 측면에서 온간 또는 열간 후

1. 한국폴리텍7대학 창원캠퍼스 컴퓨터 응용금형과
2. ㈜지성정밀
3. 경상대학교 기계공학과 대학원
4. (재)경상대 수송기계부품기술혁신센터
교신저자: 경상대학교 기계항공공학부/항공기술부품기술연구원,
E-mail : msjoun@gnu.ac.kr

판단조는 많은 장점을 지니고 있다. 그러나 이러한 장점들에도 불구하고 소성가공의 특징인 굽힘 변형이 발생한 모서리 부의 취약점으로 후판단조 기술의 적용은 크게 제한 받고 있다.

상용차용 액슬하우징(axle housing)은 생산량과 형상의 측면에서 후판단조에 적합한 대표적인 예이다. 온간 및 열간 후판단조 공법을 액슬하우징의 생산에 적용할 경우 많은 장점을 지니고 있다.

그러나 굽힘 변형이 발생한 모서리 부분에서 두께가 얇아지는 것이 고질적인 문제로 남아 있다. 이 문제는 구조 강도와 피로수명을 떨어뜨리는 직접적 원인이 되고 있다.

본 연구에서는 액슬하우징의 온간 후판단조 중 모서리 부분에서의 두께 감소 방지를 목적으로 고안된 금형과 관련 장치, 즉 금형 시스템을 제안하고, 그 영향을 단조 시뮬레이션을 통하여 밝히며, 개발된 금형 시스템을 적용하여 시험생산한 결과를 단조 시뮬레이션 결과와 함께 제시한다.

2. 문제의 설명 및 고안된 금형 시스템

Fig. 1(a)는 상용차용 액슬하우징을 나타내며, Fig. 1(b)에서 원으로 표시된 모서리 부위는 특히 후판단조품의 경우 구조적으로 취약한 것으로 조사되고 있다. 경험적으로 판단할 때, 피로시험 결과 대부분의 파괴는 이 부분에서 비롯되고 있다. 그 직접적인 원인은 종래의 일반 후판단조 과정에서 피할 수 없는 모서리 부분에서의 두께 감소에 있다. 물론 모서리의 기하학적 형상으로 인하여 응력집중에 노출된 구조역학적 취약함도 하나의 원인이 되고 있다. 따라서 모서리 부분의 강도 향상이 해결해야 할 과제이다.

Fig. 2는 액슬하우징의 성형공정에서 모서리의 두께 감소에 가장 취약한 부분의 단면과 공정의 핵심적 요소를 반영한 것이며, 평면변형의 가정 하에서 기존의 일반 단조 공정에 대하여 2차원 단조 시뮬레이션을 실시하여 모서리 부분에서 두께가 감소하는 원인을 규명한 것이다. 액슬하우징은 폭에 비하여 매우 긴 제품이고 부품의 부피에 비하여 접촉면이 크며 금형과 소재 사이가 고온 상태이므로 고마찰이 작용하기 때문에 평면변형의 가정은 타당하다고 사료된다.

소재의 두께는 10.5mm이다. 사용된 강종은 인장강도 60kg/mm²급 고장력 강판 POSTEN 55H이며, 해석 중 온도의 변화는 무시하였다. 성형온도

(a) Axle

(b) Axle housing with thin corner, warm formed

Fig. 1 Definition of problems occurred in conventional axle housing warm plate forging

Fig. 2 Definition of problems occurred in conventional axle housing warm plate forging

800℃에서의 소재의 유동응력곡선은 Fig. 3에서 보는 바와 같다. 본 논문에서 연구 대상으로 하는 공정의 주요 변형구간에서 재료의 변형률이 0.3보다 크고, Fig. 3에서 보는 바와 같이 0.3 이상의 변형률에서 변형률의 증가가 유동응력 증가에 미치는 영향이 크지 않으므로 재료는 속도의존적이라고 가정하였으며, 변형률이 0.3일 때를 기준으로 하여 유동응력은 $\sigma = 225.0 \dot{\epsilon}^{0.06}$ MPa으로 수식화되었다.

접촉면은 Coulomb 마찰법칙을 따르며, 마찰계수를 0.3으로 가정하였다[6,7]. 상형의 속도는 등속으로 가정하였으며, 그 크기는 장비와 생산량을 고려하여 평균속도인 100 mm/s로 가정하였다.

엑슬하우징의 온간 후판단조에서 굽힘 변형된 모서리에서 발생하는 두께 감소 방식을 위하여 고안된 금형 시스템

Fig. 3 Flow stress measured at 800°C

(a) CAD

Fig. 4 Simulation of new process proposed to reduce thickness reduction at the corner

Fig. 2의 결과에 의하면, 모서리의 두께 변화는 초기에 소재가 굽혀질 때 발생한 것으로 마지막 단계에서 발생하는 후판의 측면 압축에 의하여 의미있는 개선이 이루어지지 않고 있다. 결과적으로 두께 감소율이 약 10%에 이르며, 기존의 일반적인 공법에서는 근본적으로 두께 감소 현상을 방지할 방법이 없다.

전술한 문제의 해결 방안은 두 가지로 요약된다. 즉, 그 해결책은 성형 초반에 평면상태의 소재와 금형의 모서리가 접촉하면서 발생하는 소재의 굽힘을 줄이는 것과 성형 후반에 하부의 평탄부 소재의 압축 시에 소재의 측면 유동을 유도하

(b) Die system assembled

Fig. 5 Three-dimensional view of the developed die System

여 모서리 부분으로 재료의 유입을 유도하는 것이다.

Fig. 4는 전술한 두 가지의 해결책을 동시에 고

Fig. 6 Workpiece variation with stroke of the new plate warm forging process

려하여 모서리 두께의 감소를 방지하기 위하여 고안된 장치의 메카니즘을 가시화한 것이다.

기본원리는 성형초기에 상형 내부에 설치된 소재유동 압축핀을 사용하여 소재의 완전한 굽힘을 유도함으로써 성형 초기단계에서 펀치의 모서리 부위에서 발생하던 모서리의 과도한 굽힘을 방지함과 동시에 재료를 미리 금형의 공간 사이에 많이 분포시킴으로써 성형 마지막 단계에서 평탄부의 압축 성형시에 모서리 부분으로의 재료의 유

Fig. 7 Predictions of the new plate forging process

(a) Product

(b) Cross-sectional view

Fig. 8 Experiments of the developed warm plate forging process

동을 유도하는 것, 즉 폭방향으로의 압축변형의 발생을 유도하는 것으로 요약된다.

Fig. 5에 고안된 금형 시스템의 3차원 형상과 실물사진을 나타내었다. 하형은 기존의 금형과 동일하며, 상형에는 4개의 소재유동 압축핀이 위치해 있다. Fig. 6은 AFDEX 3D[5]를 사용하여 획득한 3차원 온간후판단조공정의 해석결과를 나타내고있고, Fig. 7은 해석 종료 시점에서 주요 단면을 나타내고 있다.

Fig. 7에서 보는 바와 같이 기존의 모서리 부분에서의 두께 감소가 발생하지 않았고 재료가 금형모서리까지 유입되었음을 알 수 있다. 금형과 소재의 접촉 상태를 확인해 본 결과, 모서리에서 소재와 금형은 모두 접촉상태를 유지하고 있었다.

Fig. 7에서 화살표로 표시된 부분은 핀과 상형 사이로 소재가 유입되어 발생한 버(burr)이다. Fig. 7의 결과는 Fig. 6의 변형 이력과 함께 Fig. 4의 2차원 해석 결과와 정성적으로 유사하다. Fig. 8(a)는 시험생산 결과이며, Fig. 8(b)는 모서리 두께감소에 취약한 부분의 단면을 나타내고 있다.

3. 결 론

본 논문에서는 상용차용 엑슬하우징의 온간후판단조에서 발생하는 모서리 부위의 두께 감소를 방지하기 위한 금형 시스템을 제시하였다.

이 금형 시스템의 특징은 기존의 금형에 소재 유동 압축핀을 설치하여 판재인 재료의 유동을 제어함으로써 성형 초기단계에서 나타나는 모서리의 과도한 굽힘을 억제함과 동시에 상부와 하부 금형의 공간에 충분한 재료의 공급을 통하여 성형 종료단계에서 상금형이 평탄부를 압축할 때 폭방향으로 소성유동을 유도함으로써 모서리의 두께 감소를 최소화하는 것으로 요약된다.

금형 시스템의 기본 작동원리는 평면변형의 가정하에 2차원 단조 시뮬레이션 기술과 3차원 단조 시뮬레이션 기술에 의하여 가시화되었다.

제안된 금형 시스템을 시험 적용한 결과, 모서리 부위에서의 미충진 결함이 발생하지 않았으며, 2차원 해석결과를 근거로 판단할 때, 기존의 금형을 이용한 경우보다 모서리의 두께가 약 10% 커지는 효과가 있는 것으로 평가되었다. 개발된 금형 시스템은 대형버스용 엑슬하우징의 온간후판

단조 목적으로 성공적으로 적용되었다.

후 기

이 논문은 창원 혁신클러스터 추진단(2009년도 산자부 현장 맞춤형 기술개발 사업)과 한국학술진흥재단의 지원을 받아 수행된 연구임(No. 2009-0066590).

참 고 문 헌

- [1] K. Mori, 2009, New stamping processes of high strength steel sheets, Journal of the JSTP, Vol. 50, pp. 3~8.
- [2] D. M. Kang, J. K. Hwang, A El-Morsy, K. Manabe, A study on the formability of magnesium alloy sheet in warm deep drawing, The Korean Society of Manufacturing Process Engineers, pp. 213~216.
- [3] Korea Machine Tool Manufacturers' Association, 2005, The newest manufacturing technology and equipment of Automobile parts, Korea Machine Tool Manufacturers' Association, Vol. 157, pp. 33~36.
- [4] M. C. Lee, W. J. Chung, J. G. Eom, J. S. Kim, K. S. Kim, M. S. Joun, 2010, Rigid-plastic finite element analysis of a cold plate forging process using tetrahedral elements, Proc. Kor. Soc. Tech. Plast. Conf., pp. 244~247.
- [5] <http://www.afdex.com>
- [6] M. S. Joun, H. G. Moon, I. S. Choi, M. C. Lee, B. Y. Jun, 2009, Effects of friction laws on metal forming processes, Tribology International, Vol. 42, pp. 311~319.
- [7] Z. Wuzatoski, 1969, Fundamentals of Rolling, PERGAMON PRESS Inc.