

냉간단조된 후판형 플랜지 돌출부 굽힘성형 공정연구

김대원¹ · 신영철¹ · 최호준¹ · 윤덕재¹ · 신익철² · 임성주[#]

Outer Bending of a Cold Forged Circle Flange

D. W. Kim, Y. C. Shin, H. J. Choi, D. J. Yun, I. C. Shin, S. J. Lim

(Received August 27, 2012 / Revised October 15, 2012 / Accepted October 24, 2012)

Abstract

The flange hub is a main component of an automotive steering system. Dimensional precision of the flange hub is very important for precise control of the steering force. Consequently, the process design for precision forming of a flange hub is required. The teeth of the flange hub are generally formed by bending. In this study, the formability of flange bending was investigated using FE simulations. For the optimum process conditions, the flange is bent by movement of an insert die, and the die angle and bending length are selected as 90° and 4mm respectively.

Key Words : Bending, Disk type of Flange, FE Simulation, Bending Length

1. 서 론

플랜지 허브는 자동차, 항공, 기계 부품 등의 다양한 곳에서 동력 전달 부품용으로 쓰이고 있다. 플랜지 허브(Flange hub)는 동력 전달 시 에너지 소비를 감소시키고, 동력전달 장치의 경량화를 위해 무게 감소가 요구된다.

플랜지 허브가 동력을 정확하게 전달하고 구동 효율을 향상시키기 위해서는 정밀하게 제조되어야 한다. 일반적으로 플랜지 허브는 기계가공으로 생산되어지기 때문에 소재이용률이 현저히 낮다. 정형 냉간 단조를 통해서 플랜지 허브를 생산하게 되면 기계가공으로 생산할 때보다 소재이용률 향상이 되고, 기계적 강도가 증가될 것으로 예측된다.

냉간 단조로 성형이 되는 플랜지 허브는 공정이 진행됨에 따라 가공경화가 지속적으로 발생이 되고 지속적인 가공경화를 통해서 단조품 크랙(Creak)이 발생한다. 그러한 결함을 해소하기 위

해서는 초기 소재의 치수 및 불량률에 영향을 미치는 여러가지 설계변수에 대한 최적화가 선행되어야 한다.

냉간공정으로 성형되는 플랜지 허브는 구동력을 전달 할 수 있는 치형을 성형하기 위해 굽힘 성형을 하게 된다. 굽힘 성형에서는 굽혀지는 관재의 바깥 면에서는 인장을 받고, 안쪽 면에서는 압축을 받게 된다. 이론적으로는 바깥면과 안쪽면이 받는 변형률의 크기는 서로 같다고 알려져 있다. 굽힘 성형에는 여러 굽힘 방법이 있다. U자 L자 굽힘 등 여러가지 방법으로 굽힘성형에 이용되어지고 있다.

특히 관재 모서리를 굽히는 플랜지 굽힘은 방사형 플랜지 끝단부의 정형 굽힘에 사용된다. 플랜징 굽힘은 원주방향으로 압축응력을 받으며 너무 과도하면 플랜지부가 찢어진다. 원형의 플랜지가 찢어짐 없이 굽힘 성형이 이루어 지는게 중요하다[1~5].

본 연구 대상인 방사형 플랜지는 벌크 소재로

1. 한국생산기술연구원 정밀성형기술센터
2. ㈜대림엔지니어링
교신저자: 한국생산기술연구원, E-mail: lim@kitech.re.kr

부터 냉간 공정이 진행되어 얇은 판재 상태에서 치형을 성형하기 위해 굽혀지기 때문에 가공경화로 인한 크랙이 발생하기도 한다. 그리고 굽힘 길이가 짧고 판재의 두께가 얇기 때문에 굽힘을 하기가 어렵다. 이를 해결하기 위해 본 논문은 방사형 플랜지의 끝단부 정형 굽힘을 통해 방사형 플랜지 끝단부의 정형 굽힘 특성을 알아보고 방사형 플랜지의 굽힘 성형 공정안을 제시하고자 한다.

2. 초기 굽힘 성형 해석

방사형 플랜지는 Fig. 1처럼 상하 교차되면서 굽혀져야 한다. 그래서 Fig. 2처럼 방사형 플랜지 치형 굽힘 성형을 위해 2 가지 공정을 제시하였다.

2 가지 공정 설계안을 가지고 성형해석을 수행하였다. Case 1은 하형의 인서트 금형이 올라와서 원형 플랜지 끝단부를 굽힘 성형하는 방식이다. Case 2는 중심부의 상형 펀치가 내려와서 원형 플랜지 끝단부에 굽힘 성형하는 방식이다. 2 가지 모두 굽힘 성형 해석 조건을 동일하게 하였으며, 방사형 플랜지 끝단부 굽힘을 한 소재는 S 20C이다.

2가지 공정 설계안 모두 굽힘 성형이 원활이 이루어 졌다. 하지만 구조상 Case 1과 Case 2는 다른 형태로 굽힘 성형이 이루어 지기 때문에 굽힘 성형을 하기 위한 방사형 플랜지의 초기 위치 선정이 매우 중요하다. Case 1같은 경우는 하형이 조립이 되면서 위치를 하기 때문에 굽힘을 Case 2보다 정확히 할 수 있다. Case 2는 방사형 플랜지 블랭크(Blank)가 전체적으로 상형 펀치와 함께 하강이 되면서 굽힘 성형이 되기 때문에 Case 1보다 안정적인 굽힘 성형을 구현하기가 쉽지 않다. 그래서 Case 1 굽힘 공정 설계안으로 도출하게 되었다. 성형하중은 약 4.04ton, 최대 유효응력은 약 670MPa, 최대 유효변형률은 약 6.22으로 나타났다.

3. 굽힘 성형 해석 조건

Case 1 공정 설계안을 통해서 펀치 부분의 각도를 부여하여 굽힘 성형을 수행하였다. 각도는Fig. 4과 같이 75°, 80°, 85°, 90° 으로 굽혀지는 펀치부의 각도를 주어 성형해석을 수행 하였다. 제품의 굽힘 펀치의 각도에 따라 굽힘 성형의 특성을 분석하고자 하였다.

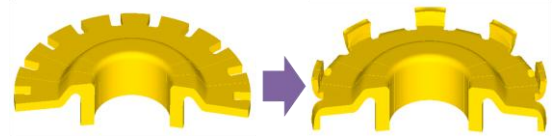
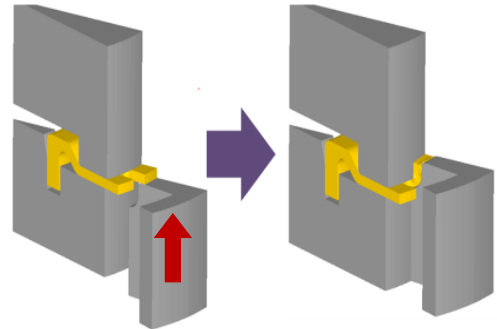
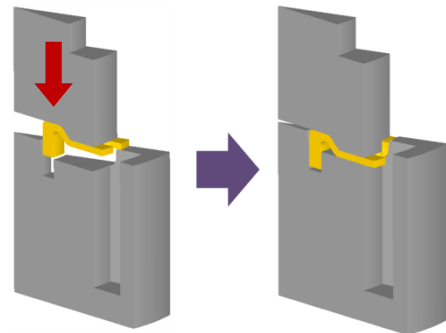


Fig. 1 Deform shapes of the bending process for flange

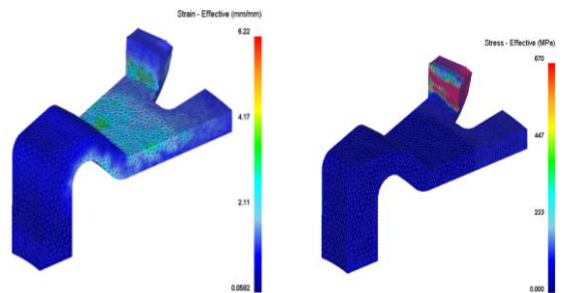


(a) Case 1



(b) Case 2

Fig. 2 Bending process design of external diameter bending



(a) Effective Strain

(b) Effective Stress

Fig. 3 Analysis results

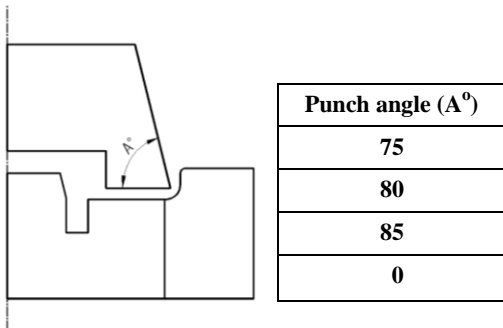


Fig. 4 FE analysis condition with bending punch angle

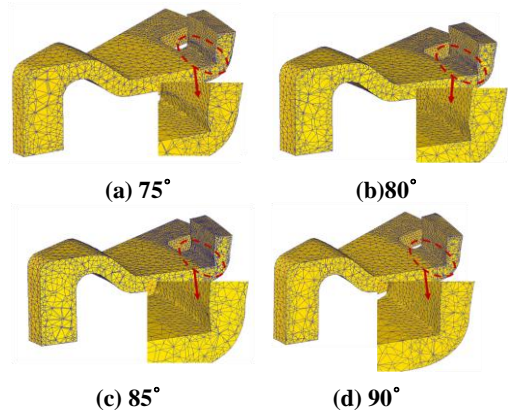


Fig. 6 Analysis results for bending punch angle

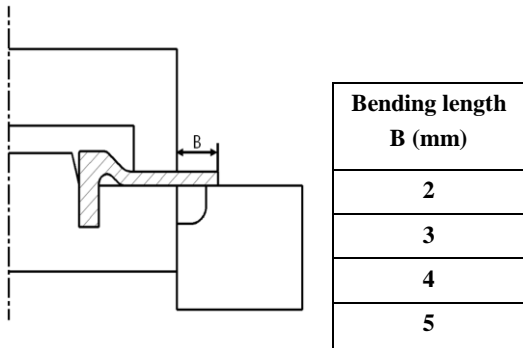


Fig. 5 FE analysis condition with bending length

Case 1 공정 설계안을 통해서 펀치 부분의 각도를 부여하여 굽힘 성형을 수행하였다. 각도는 Fig. 4과 같이 75°, 80°, 85°, 90°으로 굽혀지는 펀치부의 각도를 주어 성형해석을 수행 하였다. 제품의 굽힘 펀치의 각도에 따라 굽힘 성형의 특성을 분석하고자 하였다.

추가적으로 굽혀지는 길이에 따라 성형해석을 수행하여 굽혀지는 특성을 분석하고 최적의 굽힘 길이 도출하고자 Fig. 5와 같이 설계변수를 주어 성형해석을 수행하였다. 굽힘 길이는 2mm, 3mm, 4mm, 5mm의 4가지 설계안으로 굽힘 성형해석을 하였다.

4. 성형해석 결과

4.1 펀치의 굽힘 각도의 해석결과

펀치의 각도 별로 성형해석 결과는 Fig. 6 와 같이 나타났다. 펀치의 각도가 75°, 80°, 85° 일 때 굽혀지는 안쪽 면의 모서리 부분에 파혀지듯이 성

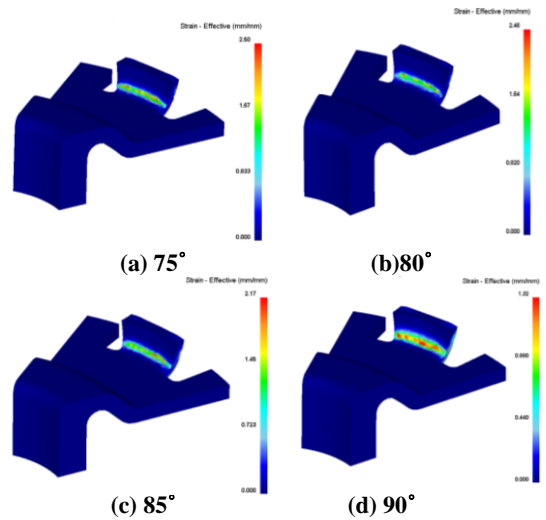


Fig. 7 Analysis results for bending punch angle (Strain)

형이 됨을 알 수 있었다. 하지만 90°일 때는 반듯하게 굽혀짐을 알 수 있었다.

Fig. 7 과 같이 변형률은 굽힘 바깥쪽 보다 안쪽이 변형이 많이 발생 하였다. Fig. 8 과 같이 유효응력은 굽힘 안쪽보다 굽힘 바깥쪽 부분이 응력이 높게 나타났다.

4.2 굽힘 길이에 따른 해석결과

굽혀지는 길이에 따라 성형 해석 결과는 Fig. 6 과 같이 나타났다. 하중은 2mm 일 때 가 가장 높게 나타났는데 Fig. 9(a)에서 보는 것과 같이 굽혀지지 않고 인서트 금형으로 인해 2mm 만큼 맞물리면서 성형됐기 때문이다. 3mm는 굽혀지긴

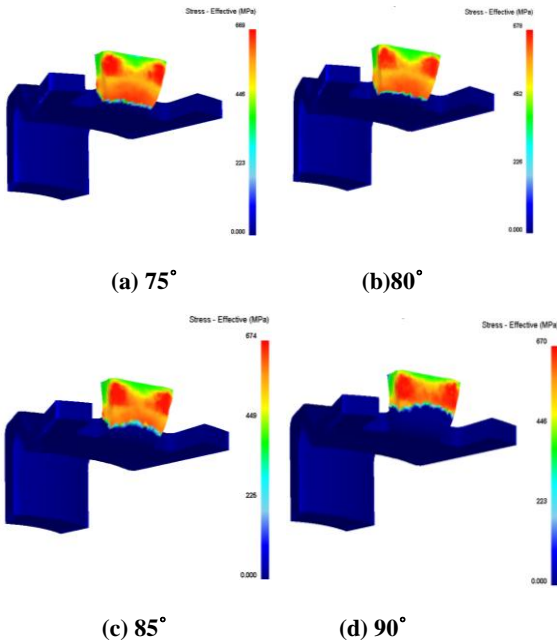


Fig. 8 Analysis results for bending punch angle(Stress)

Table 1 Analysis of results of punch angle

Punch angle (°)	Forming load (ton)	Eff. Stress (MPa)	Eff. Strain
75	2.48	669	2.42
80	2.51	678	2.46
85	2.63	674	2.17
90	2.67	670	1.32

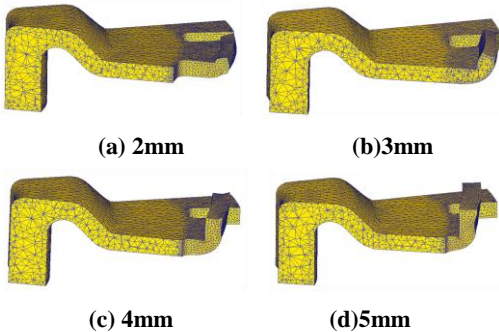


Fig. 9 Analysis results for bending length

했으나, 정확히 직각으로 굽혀지지 않는 것이며, 4mm 부터 원활하게 굽혀지는 것을 알 수 있었다.

Table 2 에 보는 것과 같이 하중이 2mm일 때 가장 높게 나타났다. 2mm 일 때 맞물리면서 성형이

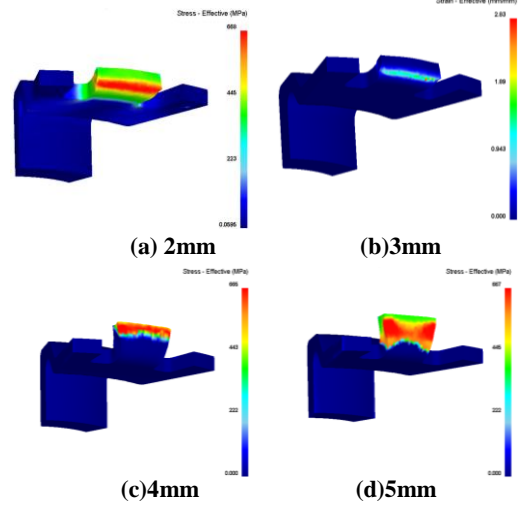


Fig.10 Analysis results for bending punch angle (Stress)

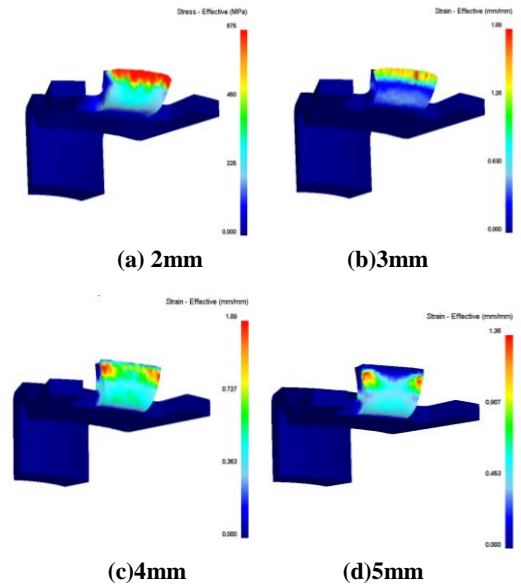


Fig.11 Analysis results for bending punch angle(Strain)

Table 2 Analysis of results of bending length

Bending length (mm)	Forming load (ton)	Eff. Stress (MPa)	Eff. Strain
2	6.46	668	2.83
3	2.96	675	1.89
4	2.75	665	1.09
5	2.62	667	1.36

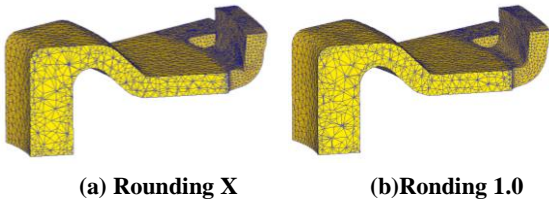


Fig. 12 Deform shapes after bending

Table 3 Analysis of results of punch rounding

Punch Rounding	Forming load (ton)	Eff. Stress (MPa)	Eff. Strain
No rounding	2.68	671	1.30
1mm	2.51	670	1.14

되기 때문에 높은 하중이 나타난 것으로 사료된다. 굽힘 길이가 4mm 일 때가 성형하중, 유효응력, 유효 변형률이 가장 낮게 나타났기 때문에 원판형 플랜지의 최적 굽힘 길이는 4mm으로 도출하였다.

4.3 굽힘부 라운딩 유무에 따른 해석결과 상부 펀치에 굽혀지는 부분에 라운딩이 유무에 따른 성형해석 결과는 Fig. 12 과 Table 3 에 보는 것 같이 나타났다. 라운딩이 있을 때 하중, 유효응력, 변형률이 낮게 나타남을 알 수 있었다.

5. 굽힘 성형 실험

앞서 굽힘 성형 해석결과를 바탕으로 금형을 제작하였다. 제작한 금형은 Fig. 13 과 같이 제작하였으며, 굽힘 실험을 한 결과는 Fig. 14 과 같이 한쪽 방향을 먼저 굽히고 다시 남은 부분을 반대 방향으로 굽혀서 방사형 플랜지의 치형을 성형하였다.

굽힘 성형 실험 측정 결과는 Fig. 15 과 같이 나타났다. 굽힘의 높이는 약 4.56mm, 플랜지 평면부의 두께는 약 2.27mm으로 나타났다. 굽혀지는 부분이 찢어짐이 발생하지 않았다.

6. 결론

본 논문인 원판형 플랜지의 끝단부 정형 굽힘 통해서 굽힘 공정안을 제시하였으며, 원판형 플랜지 끝단부 굽힘 공정 시 펀치 각도는 90° 굽혀지는 길이는 4mm이상, 상부 펀치에 굽혀지는 부분에

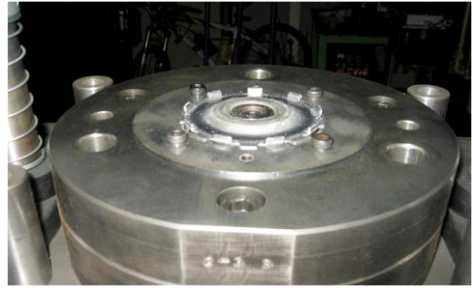


Fig.13 Analysis results for bending punch angle



Fig.14 Analysis results for bending punch angle

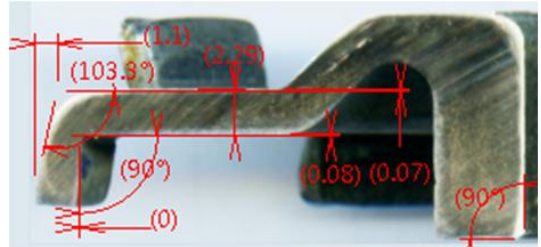


Fig.15 Analysis results for bending punch angle

라운딩이 있을 때 원활한 굽힘 성형공정이 됨을 도출 하였다. 성형해석을 통해 도출한 결과를 가지고 방사형 플랜지의 굽힘 실험을 통해 양호한 냉간 단조품을 얻을 수 있었다. 향후 굽힘 성형실험을 통해서 방사형 플랜지의 굽혀지는 각도 및 구동실험을 통해 방사형 플랜지의 기계적인 특성을 평가 할 것이다.

참 고 문 헌

[1] Y. W. Kim, 2001, A Discussion on Measurement of Springback Ratio Using Winding Bend Rig, Trans. KSMTE, Vol. 10, No. 2, pp. 1~9.
 [2] A. Selcuk, R. D. Rawling, 1991, A Cantilever-type Bend Test Technique for Formability Analysis of

- Strip/Plate Metal, J. Test. Eval., Vol. 19, No. 5, pp. 349~358.
- [3] K. Kormi, D. C. Webb, R. A. Etheridge, 1994, FEM Simulation of Pressing of a Strip into a Cylindrical Die and of a Circular Plate into a Hemispherical One and Their Comparison With Experiment, J. Mater. Process. Technol., Vol. 42, No. 4, pp. 463~473.
- [4] J. C. Choi, C. Kim, 1998, A Progressive Automated-Process Planning and Die Design and Working System for Blanking or Piercing and Bending of Sheet Metal Product, Trans. Mater. Process., Vol. 7, No. 3, pp. 246~259.
- [5] J. S. Kim, K. S. Kim, S. H. Shim, J. G. Eom, M. S. Joun, 2010, Die System for Avoiding Thickness Reduction along the Bent Corner in Warm Plate Forging of an Axle Housing, Trans. Mater. Process., Vol. 19, No. 8, pp. 447~451.