[논문] 한국소성가공학회지, 제 21 권 제 7 호, 2012
Transactions of Materials Processing, Vol.21, No.7, 2012
http://dx.doi.org/10.5228/KSTP.2012.21.7.397

두께가 얇은 냉간단조품의 스프링백 거동 및 저감설계

김대원[1] · 신영철[1] · 최호준[1] · 윤덕재[1] · 이근안[1] · 김연구[2] · 임성주[#]

Behavior and Reduction of Spring-back in a Thin Cold-Forged Product

D. W. Kim, Y. C. Shin, H. J. Choi, D. J. Yoon, G. A. Lee, Y. G. Kim, S. J. Lim
(Received June 29, 2012 / Revised October 4, 2012 / Accepted October 24, 2012)

Abstract

The flange hub is a main component in an automotive steering system. In general, the flange hub are fabricated by mechanical machining, which is a process where material waste is inevitable. It is well-known that a net-shape cold forging cannot only reduce material waste but can also improve the mechanical strength of the final product. Thus, a forging process design was conducted for production of a flange hub. Significant spring-back occurs around the flange due to its small thickness in conjunction with the residual stresses after forging. In order to achieve the required dimensional accuracy, a process design with appropriate spring-back control is needed. In this study, a modification of the forging die was designed based on FE analysis with the purpose of spring-back compensation. Four kinds of different die designs were evaluated and the optimum design has two times less spring-back than the initial design. The compensation angle of the optimum design is 0.5 degrees. The results have been experimentally confirmed by cold forging of a flange hub and comparing the amount of spring-back between the actual component and the FE analysis.

Key Words : Spring-back, Flange Hub, Cold Forging, FE Analysis

1. 서 론

플랜지 허브는 자동차, 항공, 기계 부품 등의 다양한 곳에서 동력 전달 부품용으로 쓰이고 있다. 특히 자동차 스티어링(Steering) 구성부품 중에 플랜지 허브(Flange hub)는 중요한 핵심부품이며, 동력 전달 시 에너지 소비를 감소시키고, 차량 전체의 경량화를 위해 무게 감소가 요구된다.

플랜지 허브가 동력을 스티어링에 정확하게 전달하고 구동 효율을 향상시키기 위해서는 정밀하게 제조 되어야 한다. 일반적으로 플랜지 허브는 기계가공으로 생산 되어지기 때문에 소재이용률이 현저히 낮다. 정형 냉간 단조를 통해서 플랜지 허브를 생산하게 되면 기계가공으로 생산 할 때보다 소재이용률 향상이 되고, 기계적 강도가 증가 될 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 위해서는 초기 소재의 치수 및 불량률에 영향을 미치는 여러가지 설계변수에 대한 최적화가 선행되어야 한다.

벌크(Bulk) 소재로부터 플랜지 허브 외경의 두께가 얇아짐에 따라 스프링백(Spring-back)이 발생한다. 스프링백은 일반적으로 항복응력이 높을수록,

1. 한국생산기술연구원
2. (주) 대림엔티아이
교신저자: 한국생산기술연구원, E-mail:lim@kitech.re.kr

소재의 두께가 얇을수록 크게 나타나는 경향이 있다. 스프링백 발생 시 제품의 치수 오차로 인하여 부품과 부품간의 결합이 잘 되지 않는다. 이러한 스프링백의 문제점을 보완하기 위하여 해석을 통해 스프링백을 예측하고 스프링백 정도에 따라 금형 보정을 통해 스프링 백량을 최소화하는 방법 등이 제안되고 있다.

두께가 얇은 플랜지 허브는 초기 벌크 소재로부터, 외경의 플랜지 두께가 약 2.25mm까지 성형되어 높은 강도와 두께 감소가 발생한다. 이는 성형 후 제품의 스프링백 발생 가능성을 증가시키는 요인 중 하나이다. 플랜지 허브의 내경 원통면을 기준으로 외경 플랜지의 직각도가 정밀해야 한다. 이는 제품 품질에 직접적인 영향을 미치기 때문이다. 직각도의 오차는 부정확한 구동력 전달의 요인으로 작용한다. 이러한 문제점을 보완하기 위해서 스프링백 완화을 위한 공정 변수를 선정하고 스프링백을 감소시키기 위한 금형 설계가 절실히 필요하다[1~8].

본 논문에서는 플랜지 허브의 성형공정에서 발생하는 스프링백을 유한요소해석을 통해 예측한 후 스프링백 완화을 위한 금형형상의 최적화를 수행하고자 한다.

2. 성형 해석 조건

플랜지 허브 부품의 냉간단조 공정은 플랜지 허브 부품의 전체적인 윤곽 치수를 성형하는 공정이다. 냉간단조 공정의 금형 구조는 Fig. 1 과 같다.

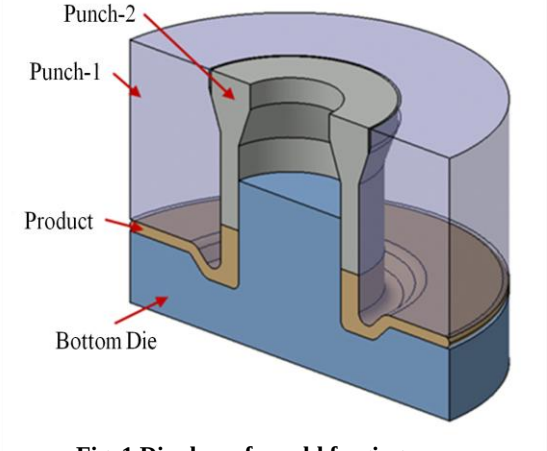


Fig. 1 Die shape for cold forging process

Table 1 Analysis conditions of flange hub cold forging

Number of elements	4,000
Friction factor (m)	0.12
Material	S20C
Die Temp. (℃)	25

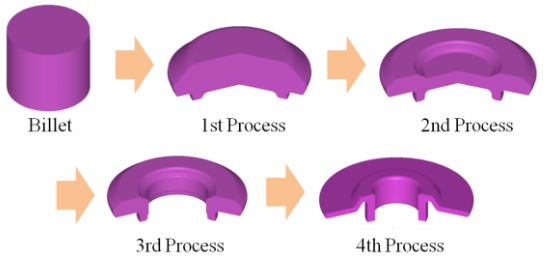


Fig. 2 Cold forging process of flange hub

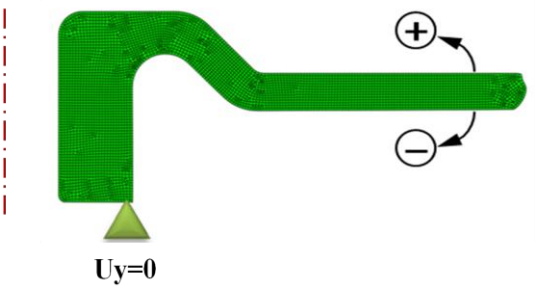


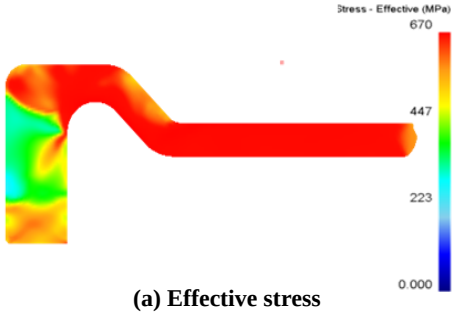
Fig. 3 Boundary conditions for spring-back analysis

플랜지 허브의 성형해석 시 사용된 소재는 S20C 이다. DEFORM 2D를 이용하여 축 대칭 해석을 수행하였다. 성형조건은 Table 1 에 나타냈다.

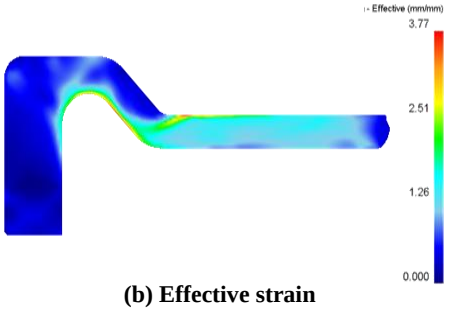
Fig 2 와 같이 안쪽 내경과 형상 치수가 성형되었다. Fig. 2 와 같이 벌크형상의 소재를 굴곡이 있는 판재 형태로 성형하게 되면 변곡 부위에 잔류응력이 쌓여 스프링백 발생 가능성이 높다. 스프링백 해석 조건은 Fig. 3 과 같이 하였다. 플랜지 허브의 강체 운동을 제거 할 수 있는 변위 경계조건을 부여하여 해석을 진행하였다.

3. 초기 성형해석 결과

냉간단조 공정의 성형하중은 640ton, 최대 유효응력 669MPa, 최대 변형률은 3.77으로 나타났다. 휠 허브의 냉간단조 공정 시 플랜지 외경 두께에서 스프링백 발생이 예상되므로, 성형 해석을 후 Fig. 3과 같이 경계조건을 부여하여 스프링백 해석을 수행하였다.



(a) Effective stress



(b) Effective strain

Fig. 4 Results of cold forging analysis of flange hub

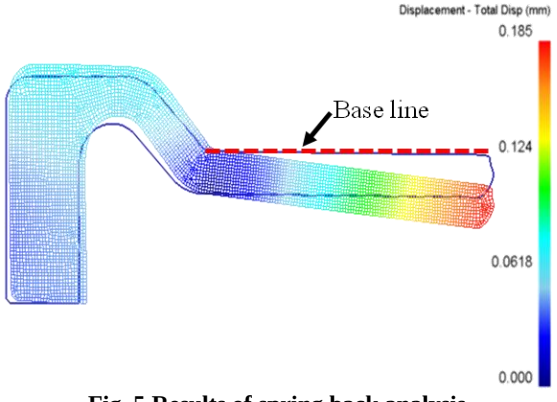
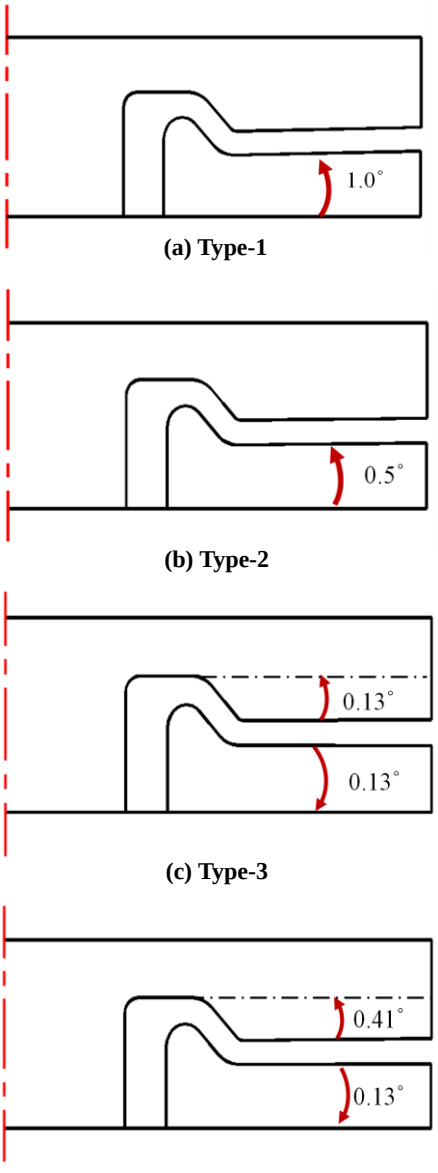


Fig. 5 Results of spring back analysis

스프링 백 해석 결과는 Fig. 4와 같이 나타났으며, 스프링백 양은 약 0.185mm이며, 스프링 백 각도 약 -0.56°으로 나타났다. 이런 결과를 토대로 스프링백 양을 감소 시키기 위한 금형 설계안을 Fig. 5 와 같이 설계하여 스프링 백 해석을 수행하였다.

4. 스프링백을 고려한 금형설계 조건

스프링백을 저감하기 위한 금형 설계안을 Fig. 6 과 같이 4가지 형태로 제시하였다. Type-1과 Type-2는 상형과 하형을 스프링백이 발생하는 반



(a) Type-1

(b) Type-2

(c) Type-3

(d) Type-4

Fig. 6 Die designs for spring-back reduction

Type-2는 상형과 하형을 스프링백이 발생하는 반대 방향으로 각도를 주어 설계하였으며, 그 각도는 Type-1이 1.0°, Type-2가 0.5°이다. Type-3과 Type-4의 상형과 하형의 각도 방향은 서로 반대 방향으로 설계하였다. 그 각도는 Type-3은 상/하형 모두 0.13°, Type-4의 상형에서 0.13°, 하형에서는 0.41°이다. 냉간단조 성형해석을 수행 한 후 앞에서와 동일한 조건으로 스프링백 해석을 하였다.

Table 2 Results of cold forging analysis

Items	Type-1	Type-2	Type-3	Type-4
Forming load (ton)	411	482	547	548
Max. Eff. Strain	3.88	4.24	4.75	4.98
Max. Eff. Stress (MPa)	679	672	670	670

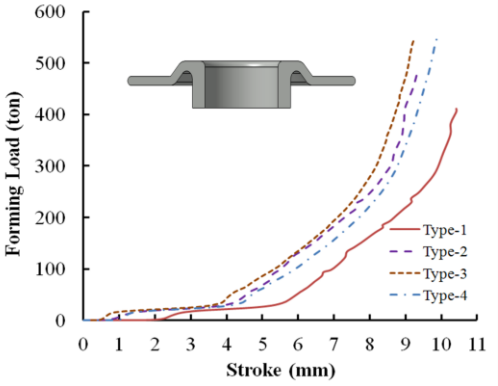


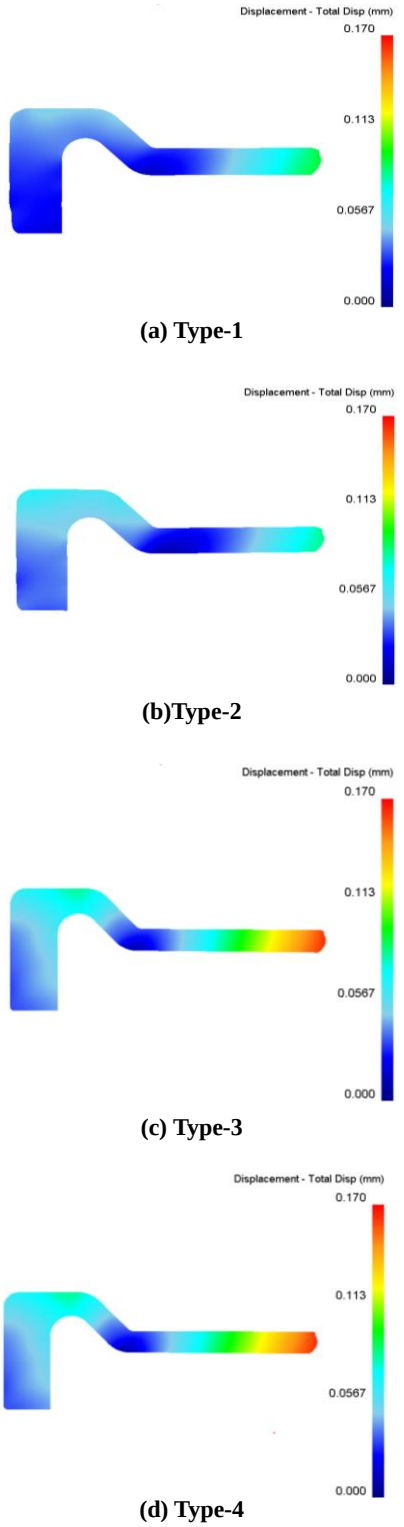
Fig. 7 Forming load of flange hub during the forging process

5. 스프링백 고려한 금형설계 해석결과

플랜지 허브 부품의 4가지 금형설계안의 성형해석 결과를 Table 2에 나타내었다. Fig. 7은 각 설계안 별 성형하중 곡선을 나타내고 있다.

플랜지 허브 부품의 스프링백을 감소 시키기 위한 4가지 금형 설계안에 대하여 스프링백 해석을 수행한 결과를 Fig. 8에 나타냈다. Type-1은 스프링백 량이 약 0.093mm, 스프링백 각도는 약 0.66°정도 나타났으며, Type-2는 스프링백 량이 약 0.083mm, 스프링백 각도는 약 0.48°으로 나타났다. Fig. 9 에 나타난 그래프를 보면 초기 스프링백 양대비 Type-1과 Type-2는 약 1/2배 정도 차이로 났으며, Type-3과 Type-4는 약 0.02mm 정도 차이가 나타남을 알 수 있었다. 스프링백 각도 방향은 Type-1과 Type-2는 + 방향, Type-3과 Type-4는 – 방향으로 발생하였다.

최종적으로 스프링백 발생 각도와 스프링백 길이가 가장 적게 나타난 것은 Type-2로 스프링백 완화 설계 조건을 도출하였다.



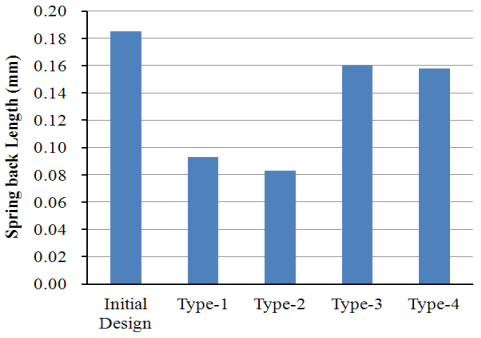
(a) Type-1

(b)Type-2

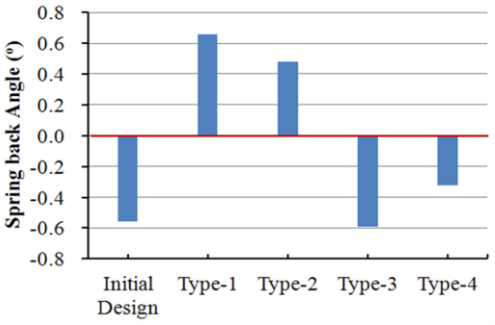
(c) Type-3

(d) Type-4

Fig. 8 Displacement distribution of spring-back analysis



(a) Spring-back length



(b) Spring-back angle (°)

Fig. 9 Prediction of spring-back by FE analysis

Fig.10 Sizing die of flange hub

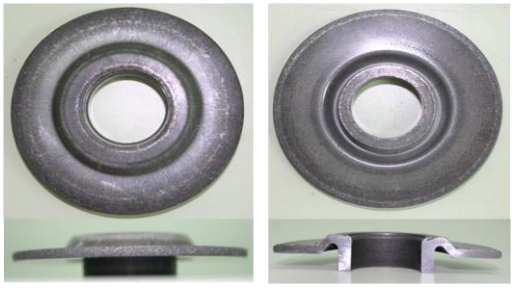


Fig.11 Flange hub products

Table 3 Major dimensions of flange hub

Items	Measured value
Outer diameter (mm)	90
Inner diameter (mm)	25
Thickness (mm)	2.25
Height (mm)	12

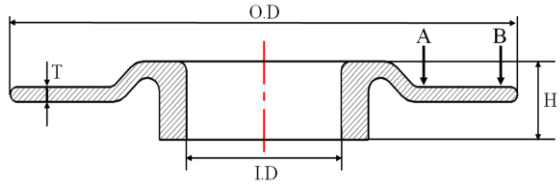


Fig.12 Schematic of spring-back measuring points

Fig.13 Spring-back measuring points

6. 성형 실험 결과

제품 성형과정에서의 스프링 백 발생량을 알아보기 위해 플랜지 허브의 성형 해석 결과를 토대로 Fig. 10 과 같이 금형을 설계하여 제작하였다. 프레스는 기계식 프레스를 사용하였다.

Fig. 11 은 냉간단조 공정 성형 후 단조품을 보여주고 있다. 플랜지 허브의 성형 후 주요 치수는 Fig. 12 와 같고 측정한 결과는 Table 3 과 같이 나타났다. 외경은 최소 81mm 이상 나타났으며, 플랜지의 두께는 2.22mm 으로 양호한 성형 치수 결과를 얻을 수 있었다.

성형된 성형품을 통해 Fig. 13과 같이 각 지점의 바닥부터의 높이를 측정하여 그 높이의 차를 스프링백으로 측정하였다. 측정값은 Table. 4와 같이 나타났다. 스프링백은 약 0.079mm으로 나타났다. 최종 실험치의 스프링백 양은 Fig. 14의 비교 그래프를 보면 도출된 설계조건과 성형실험 측정 데

Table 4 Spring-back data

No.	A height (mm)	B height (mm)	A-B (mm)
1	7.546	7.482	0.064
2	7.551	7.483	0.068
3	7.546	7.463	0.083
4	7.530	7.446	0.084
5	7.526	7.438	0.088
6	7.519	7.434	0.085
7	7.533	7.449	0.084
8	7.544	7.467	0.077
Avg.	7.537	7.458	0.079

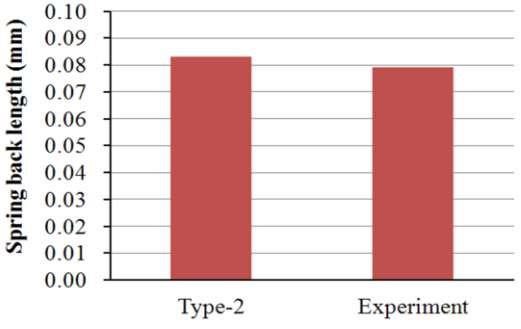


Fig.14 Comparison of spring-back length

이터가 거의 동일함을 알 수 있었다. 실제 성형 실험 시 플랜지 허브가 성형이 되면서 퍼져가는 윤활 조건이 균일 하지 않기 때문에 측정 위치마다 조금씩 차이가 나며, 성형공정이 진행 됨에 따라 소성 변형량의 차이가 있는 것으로 사료된다.

7. 결 론

본 논문에서 플랜지 허브의 스프링백를 완화 시킬 수 있는 4가지 금형 설계안을 통해서 스프링백을 완화 시키는 최종 금형 설계안을 도출하였다. 스프링백 발생하는 반대 방향으로 금형 설계했을 때 초기 성형해석보다 약 1/2배정도로 스프링백 길이를 감소 시킬 수 있었다. 그리고 성형해석을 통하여 도출된 성형 양상은 실제 성형실험을 통하여 얻은결과와 유사한 결과를 나타냄을 확인 할 수 있었으며 향후에도 이와 유사한 결과를 제한적이나마 적용할 수 있음을 검증하였다.

참 고 문 헌

[1] W. Gan, R. H. Wagoner, 2004, Die Design Method for Sheet Springback, Int. J. Mech. Sci., Vol. 46, No. 7, pp. 1097~1113.

[2] C. C. Chu, 1986, Elastic-plastic Spring-back of Sheet Metals Subjected to Complex Plane Strain Bending Histories, Int. J. Solids Struct., Vol. 22, No. 10, pp.1071~1081.

[3] M. Sunseri, J. Cao, A. P. Karafillis, M. C. Boyce, 1996, Accommodation of Spring-back Error in Channel Forming Using Active Binder Force Control: Numerical Simulations and Experiments, J. Eng. Mater. Technol., Vol. 118, No. 3, pp. 426~435.

[4] I. C. Park, Y. J. Kim, J. M. Lee, Y. C. Park, 2006, Optimization of Design Planning by Using the Spring Back Simulation of Auto Panels, Trans. Mater. Process., Vol. 15. No. 2, pp. 164~171.

[5] P. Chen, M. Koe, 2007, Simulation of Springback Variation in Forming of Advanced High Strength Steels, J. Mater. Process. Technol., Vol. 190, No. 1, pp. 189~198.

[6] D. Y. Yang, S. W. Lee, J. W. Yoon, D. J. Yoo, 1999, Springback Analysis in Sheet Metal Stamping Processes and Industrial Applications, Trans. Mater. Process., Vol. 8. No. 1, pp. 22~28.

[7] L. M. Geng, R. H. Wagoner, 2002, Role of Plastic Anisotropy and Its Evolution on Spring-back, Int. J. Mech. Sci., Vol. 44, No. 1, pp. 123~148.

[8] I. Chou, C. Hung, 1999, Finite Element Analysis and Optimization on Spring-back Reduction, Int. J. Mach. Tools Manuf, Vol. 39, No. 3, pp. 517~536.