

저장매체용 스크류의 냉간 헤딩 공정 설계에 대한 연구

서원상¹ · 민병욱¹ · 박 근² · 나승우³ · 이상훈⁴ · 김종호⁵ · 김종봉[#]

Design of Cold Heading Process of a Screw for Storage Parts

W. S. Seo, B. W. Min, K. Park, S. W. Ra, S. H. Lee, J. H. Kim, J. B. Kim

(Received December 27, 2010 / Revised January 20, 2011 / Accepted January 24, 2011)

Abstract

Fasteners are used to join the various electronic products and machines. So, the quality and reliability of the fastener are strongly requested. In this study, the analyses of the multi-stage cold forging of TORX screws for storage parts are carried out. In manufacturing of TORX screws, crack and folding defects are observed. Therefore, the analysis is focused on the prediction of the defects. Based on the analysis results, the upper die and process conditions are redesigned to reduce the defects. The upper die shape for preform forming is redesigned to prevent folding and sharp shape change. The Cockcroft-Latham damage criterion is introduced to predict the crack initiation. Analysis results shows that the maximum Cockcroft-Latham damage value is decreased by 40% in the forming using the modified upper die.

Key Words : Cold Forging, Screw, Fasteners, Heading, Damage, Crack, Multi-stage Forging

1. 서 론

패스너(Fastener)는 각종 전자 제품을 조립하는데 사용되는 체결용 부품으로써, 작은 휴대폰에서부터 자동차, 항공기, 각종 기계, 전기 전자, 건축에 이르기까지 그 활용 범위가 광범위하다. 냉간 단조 단조와 전조공정으로 생산되는 패스너의 정밀도와 품질은 제품의 생산성과 성능 등에 큰 영향을 미치게 되었으며, 그 중요성이 더욱 부각되고 있는 실정이다. 냉간 단조는 소재의 손실을 최소화하며 원하는 형상의 제품을 가공하는 가장 기본적인 금속성형방법이다[1]. 냉간 단조에 의해 성형된 부품은 양호한 가공표면, 치수정밀도, 그리고 기계적 강도가 우수하며 대량으로 생산할 수 있다는 장점이 있다. 단점으로는 공정설계와 금형 제작에 드는 비용 및 시

간이 다른 공정에 비해 크다는 것이다. 그래서 최근 이러한 문제해결을 위해 컴퓨터를 이용한 연구가 활발히 진행되고 있고 냉간 단조에 의해 성형된 부품에 발생하는 균열을 예측하기 위한 노력들이 수행되어 왔다[2,3].

패스너 중에서 TORX형 머리를 가지고 있는 패스너는 체결시 높은 토크(Torque)를 전달하고 비트(Bit)와 패스너의 마모를 최소화 시키며, 한번 조립 후 분해가 별로 없고, 공간 확보가 어려운 좁은 곳에 사용하기에 적합하다[4]. 실제 냉간 헤딩 공정을 통해 양호한 치수와 정확도를 갖는 제품을 성형하는 데는 성공하였으나 제품의 성형 시 소재 유동방향으로 균열이 발생하였다. 본 연구에서는 하드디스크와 같은 저장매체 체결용인 TORX형 패스너(M2.6X5) 머리부분의 생산 공정의

1. 서울과학기술대학교 NID 융합대학원
2. 서울과학기술대학교 기계설계자동화공학부
3. ㈜ 서울금속 기술연구소
4. 서울과학기술대학교 자동차공학과
5. 서울과학기술대학교 제품설계금형공학과
교신저자 : 서울과학기술대학교 자동차공학과,
E-mail : jbkim@snut.ac.kr

하나인 냉간 헤딩(Heading)공정에 대해 성형해석을 수행하여 실제공정에서 발생하는 결함의 원인을 분석하고 해결하기 위한 방법을 제시하였다.

2. 해석

2.1 형상모델링

해석은 범용 해석프로그램인 Deform-3D를 이용하여 수행하였다. Fig. 1은 생산된 TORX Screw와 각 공정별 성형된 형상을 보여준다. Fig. 1에서 각 공정은 Fig. 1 (b)에서 (d)까지 순차적으로 이루어지게 되며, Fig. 1(b)는 성형 전 초기 소재 모양이고, Fig. 1 (c)는 예비성형 형상, 마지막으로 Fig. 1 (d)는 최종 성형 형상을 나타낸다. 각각 공정의 금형 모델링은 실제 생산 공정의 치수로 했다.

헤딩공정에서 성형부분은 스크류의 머리부분이다. 본 연구에서는 해석시간을 줄이고 결과의 신뢰성 확보하기 위해 전조공정으로 성형되는 머리 아래 부분의 소재길이를 줄여 해석을 진행하였다.

실제 공정에서 생산된 스크류에서 Fig. 2와 같은 결함들이 발견되었다. Fig. 2 (a)는 스크류 머리부분에 발생한 균열(Fracture) 결함을 보여준다. Fig. 2(b)



(a) Fracture on top surface



(b) Folding on top surface



(c) Folding on screw bit region

Fig. 2 Observed defects after heading process



(a) Original shape



(b) 1st modification



(c) 2nd modification

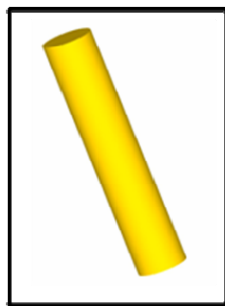
Fig. 3 Sectional view of top die for 1st stage forming

는 스크류 머리부분의 접힘(Folding) 결함이다. Fig. 2 (c)는 스크류 비트(Bit)부분에서 발생한 접힘(Folding) 결함이다.

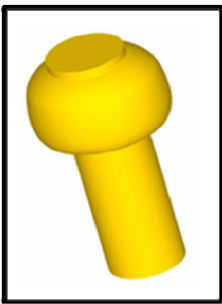
Fig. 2의 결함들을 해결하기 위해 Fig. 3 (b)와 (c)와 같이 1차 성형 공정의 상부 다이의 형상을 변경 후 해석을 실시하여 분석하였다. 스크류의 냉간 단조 성형에 있어 중요한 설계 인자로 예비



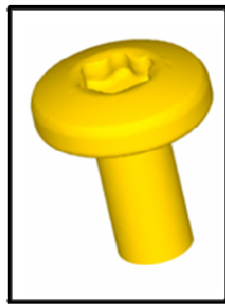
(a) TORX Screw



(b) Workpiece



(c) After 1st forming



(d) After final forming

Fig. 1 TORX Screw and deformed shape at intermediate forming stage

성형품의 형상이다. 예비성형 형상에 따라 최종 성형품의 결함을 조절할 수 있기 때문이다[5].

Fig. 3 (a)는 기존 상부 다이의 단면도이고, Fig. 3 (b)와 (c)는 기존 상부 다이 상단의 돌출된 부분에 의해 접힘 결함이 발생된다고 판단되어 돌출된 형상이 수정된 다이 형상을 제안하여 결함을 개선하기 위한 형상들이다. Fig. 3 (b)와 (c) 모두 하부 다이에서 오프셋되어 정지되는 위치는 동일하다. 그러나 상부 다이 내에서 공간이 제한되어 Fig. 3 (c)가 Fig. 3 (b)보다 예비 성형품의 압축 정도가 크다. 수정 전,후의 성형 공정에 대한 성형율(FR)을 Table 1에 나타내었고, 성형율에 대한 정의는 Fig. 4를 참고하여 다음과 같이 하였다.

$$FR(\%) = \frac{H_I - H_M}{H_I - H_F} \times 100 \quad (1)$$

Table 1 Forming ratio at each stage of forming

	1 st forming	Final forming
Original	80%	100 %
1 st modification	80%	100 %
2 nd modification	85.1%	100 %

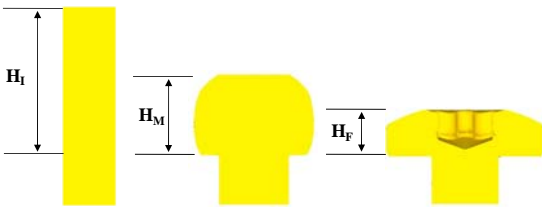


Fig. 4 Dimensions for definition of forming ratio

Fig. 5(a)는 하부 다이의 단면도이며, 성형 공정 동안 변경 없이 해석을 실시하였다. Fig. 5(b)는 최종 성형공정의 상부 다이이며, 모든 공정의 최종 성형단계에서 동일하게 사용되었다.

2.2 유한요소 모델링

해석은 Deform-3D로 수행하였다. 소성변형이 크게 발생하고 관심 대상인 소재의 비트부분에서는 격자를 비교적 작게 하며 총 100,000개의 요소로 분할하였다. 상, 하부 다이(Die)는 제품성형 해석 시 강체(Rigid)로 가정하여 격자 없이 해석을 수행하였다.

하부 다이는 고정시켰으며 상부 다이의 속도는 10mm/s로 각 공정에 상관없이 일정하게 적용하였

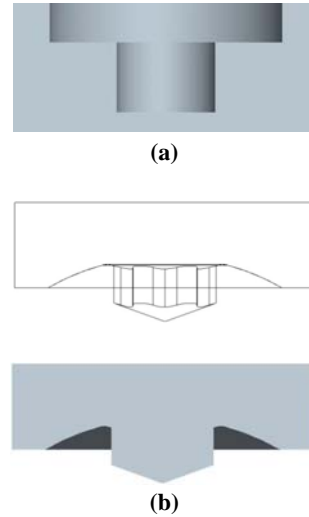


Fig. 5 Section view of (a) bottom die for commonly used at all stage of forming and (b) top dies for final stage of forming

다. 상, 하부 다이와 소재의 마찰조건은 냉간 강재일 경우 일반적으로 적용하는 전단응력마찰(m=0.12)로 설정하였다. 저장매체용 체결 스크류의 소재는 탄소강, 합금강, 스테인리스강 등이 주로 이용되는데, 본 연구에서는 실제 공정에 사용되고 있는 AISI SUS304 소재를 적용하여 해석을 진행하였다[6].

2.3 Damage 분석

실험을 통해 얻는 시편에서 균열과 접힘 결함이 발생했다(Fig. 2). 본 연구에서 헤드 공정에서 발생하는 균열을 예측하고 분석하기 위해 DEFORM-3D에서 제공하는 Damage 값을 이용하였다. Damage는 식(2)와 같이 기술되는 Normalized Cockcroft-Latham(CL) 이론을 적용하였다[7,8,9].

$$\int \bar{\epsilon} \frac{\sigma_1}{\sigma} d\bar{\epsilon} = C \quad (2)$$

여기서 $\bar{\epsilon}$ 는 유효변형률, σ 는 유효응력, 그리고 σ_1 은 주응력이다. Cockcroft-Latham 이론으로 구한 Damage값은 상대적인 의미만 있고, 균열의 발생유무는 판단할 수 없다. 균열의 발생유무를 판단하기 위해서는 임계값을 실험을 통해 구해야 하는데, 본 연구에서는 균열 발생 유무를 판단하기에 앞서 설계 변경에 따른 균열 발생 가능성을 상대적으로 분석하였다.

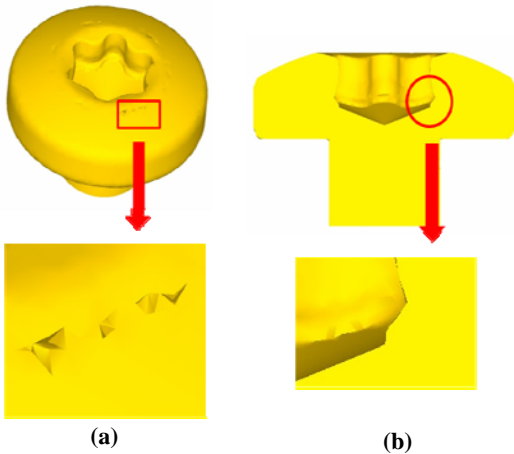


Fig. 6 Observed folding defects (a) on top surface and (b) on screw bit region by analysis

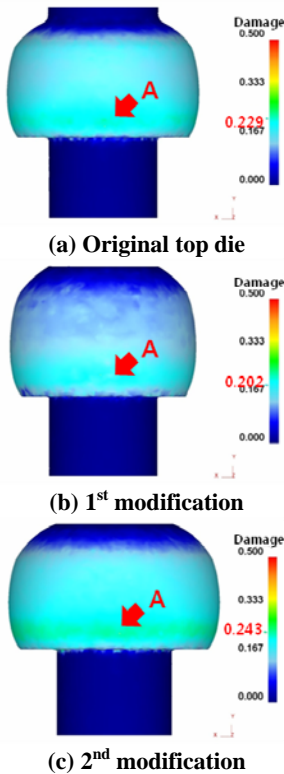


Fig. 7 Damage distribution after 1st forming

3. 결과 및 고찰

기존 성형공정에 대해 해석한 결과를 Fig. 6에 도시하였다. 실험에서 발견된 접힘 결함들(Fig. 2

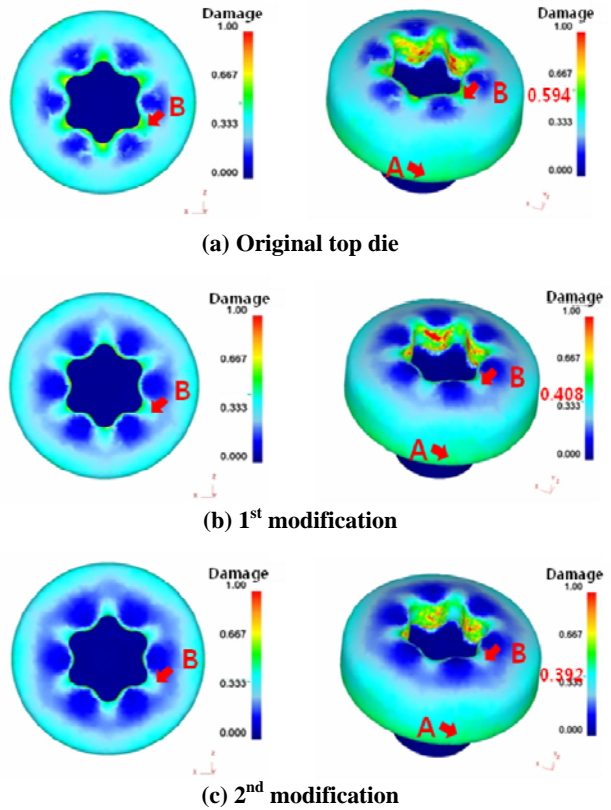


Fig. 8 Damage distribution after final forming

(b)와 (c)이 해석 결과를 통해서도 확인 되었다.

Fig. 7은 1차 성형 공정에 대한 해석 결과이며 성형된 소재의 Damage값과 Damage분포를 보여준다. Fig. 7(a)~(c) 모두 화살표 A부분에서 최대 Damage값을 보이며 1차 성형에서 압축량이 클수록 전체적인 Damage분포가 큰 것을 확인할 수 있다.

Fig. 8에서 각각의 최종성형 공정 해석후의 Damage 값과 Damage 분포를 확인할 수 있다. Fig. 8(a)~(c) 모두 크랙이 예측된 화살표 B부분에서 큰 Damage값을 보이며, A부분의 Damage값은 Fig. 7에서의 A부분의 값과 비교를 통해 증가함을 알 수 있다. 화살표 A, B부분의 값들은 Table 2에서 확인할 수 있다.

A부분의 Damage값은 약 3% 감소했지만, B부분의 Damage값은 약 35% 감소했음을 알 수 있다. A부분의 Damager값은 CL식과 연관시켜 보면, A부분의 Damage값은 소재 반경의 팽창크기와 연관이 있다. 왜냐하면 A부분은 축대칭 변형이라 이 성형 공정 동안 σ_1 의 방향이 원주 방향으로 일정하게

Table 2 Damage values at point A and B after final forming

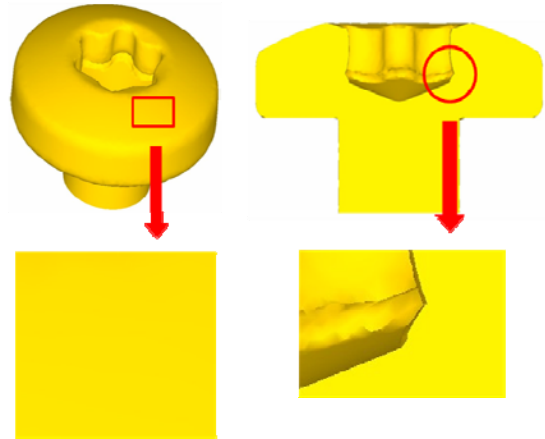
		1 st forming	final forming
Original shape	A	0.229	0.522
	B	-	0.594
1 st modification	A	0.202	0.512
	B	-	0.408
2 nd modification	A	0.243	0.506
	B	-	0.392

유지되기 때문이다. 그리고, 축대칭 변형에서 주 변형을 ϵ_1 은 다음과 같다.

$$\epsilon_1 = \ln \frac{r}{r_0} \quad (3)$$

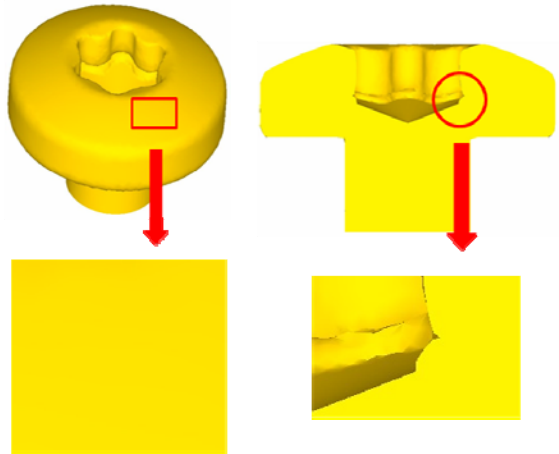
여기서 r_0 는 초기 반경이고 r 은 최종 반경이다. 그리고, 축대칭 변형의 경우 σ_1 은 ϵ_1 만의 함수이다. 그렇기 때문에 최종 반경이 같을 경우 CL값이 거의 같다고 볼 수 있다. 이런 이유로 A부분의 CL값이 거의 같게 나왔다고 사료된다. 하지만 Fig. 2 (a)의 우측그림을 보면 b부분에서 균열이 시작된다는 것을 볼 수 있고, B부분의 Damage값을 보면 기존 성형공정보다 제안된 모델에서 작은 Damage값을 보임을 알 수 있다. 기존 성형공정과 상대적으로 비교했을 때 기존 성형 공정에 비해 제안된 모델이 균열발생 가능성이 적다고 판단된다. 복잡한 성형이 발생하는 B부분의 Damage값보다 A부분의 Damage값이 크게 나온 것은 CL식의 한계로 보이고 좀 더 정확한 균열을 예측하기 위해서는 개선된 균열모델을 적용하여야 한다고 사료된다.

1차 수정모델과 2차 수정모델을 1차 성형 공정에서 성형된 예비 성형품에 대해 동일한 상부 다이를 이용한 각각의 최종성형 공정 해석한 형상을 Fig. 9와 Fig. 10에 나타나있다. 기존 성형 공정에서 발생된 스크류 머리부분에서의 접힘 결함이 발생되지 않는 것(Fig. 9 (a)와 Fig. 10 (a))을 확인할 수 있다. 그러나 비트부분에서 발생한 접힘 결함은 여전히 동일하게 발생(Fig. 9 (b)와 Fig. 10 (b))되었다. 비트부분의 접힘 결함이 제품으로써 문제가 발생한다면 추후에 비트부분의 접힘 결함에 대한 연구가 필요하다.



(a) No folding on top surface
(b) Folding on screw bit region

Fig. 9 Deformed shape with 1st modified top die



(a) No folding on top surface
(b) Folding on screw bit region

Fig.10 Deformed shape with 2nd modified top die

4. 결론

본 연구에서는 저장매체 체결용 TORX 스크류의 헤딩공정에서 발생하는 균열과 접힘 결함에 대해 원인을 파악하고 해결하기 위한 방향을 제시하기 위해 범용 해석프로그램인 Deform-3D를 이용하여 해석을 수행하였다. 해석결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

기존 성형공정에 대한 해석 결과와 1차 예비 성형 공정에서 머리 윗부분에 돌출된 부분이 없도록 곡면으로 수정한 2종류의 상부 다이로 성

형 해석을 실시한 결과를 상대적으로 비교하여 분석한 결과 상부 다이를 수정한 성형 공정에서 접합 결함이 관찰되지 않았고, 예비 성형에서 성형율을 크게 한 경우가 Damage값과 Damage분포가 크게 감소하는 것을 확인하였다. 이 결과 예비 성형품의 형상과 압축율에 따라 최종 성형품의 균열 결함 발생에 영향을 미치는 것을 확인할 수 있었으며, 제안된 모델의 성형 공정을 통해 균열 결함 발생을 감소시킬 수 있다고 판단된다.

후 기

이 논문은 2010년 교육과학기술부의 재원으로 (사)한국산업기술진흥협회 우수연구실사업의 지원 및 지식경제부와 한국산업기술재단의 전략기술인력양성사업의 지원으로 수행된 연구임.

참 고 문 헌

[1] D. W. Jung, 2002, Analysis of Free Forging of Cylindrical Billets by Using Finite Element Method, J. Ocean Eng. Technol., Vol. 16, No. 6, pp. 49~54.
[2] J. H. Son, D. W. Bae, C. W. Park, H. Y. Lee, H. K. Seo, C. M. Seo, 2007, Study on Precision Cold

Forming Process Design and Forming Analysis of Inner Sleeve Using 3D Finite Element Method, Proc. Kor. Soc. Precision Eng. Spring, pp. 579~580.
[3] S. Kubota, T. Yamamoto, M. Yamanaka, 2007, Forging Process Design by the Computer Simulation, Trans. Mater. Process., Vol. 16, No. 2, pp. 95~100.
[4] Y. K. Kong, B. D. Lowe, S. J. Lee, E. F. Krieg, 2008, Evaluation of handle shapes for screw driving, Applied Ergonomics, Vol. 39, pp. 191~198.
[5] D. J. Kim, D. C. Ho, B. M. Kim, J. C. Choi, 1996, The Prediction of Geometric Configuration and Ductile Fracture Using the Artificial Neural Network for a Cold Forged Product, J. Kor. Soc. Precision Eng., Vol. 13, No. 10, pp. 105~111.
[6] J. Chen, B. Young, 2006, Stress-strain curves for stainless steel at elevated temperatures, Eng. Struct., Vol. 28, pp. 229~239.
[7] M. G. Cockcroft, D. H. Latham, 1968, Ductile and the workability of metals, J. Inst. Metals, Vol. 96, pp. 33~39.
[8] Scientific Forming Technologies Corporation, 2008, DEFORM-3D Version 6.1 User's Manual.
[9] H. Kim, M. Yamanaka, T. Altan, 1995, Prediction and Elimination of Ductile Fracture in Cold Forging Using FEM Simulation, Proc. NAMRC, pp. 63~69.