

냉간단조용 금형강도에 미치는 보강방법의 영향

이영선* · 최종웅** · 서성열*** · 이정환*

The effect of shrink fitting type on cold forging die

Y.S. Lee, J.U. Choi, S.Y. Suh and J.H. Lee

Abstract

In cold forging die, the shrink fitting is generally used to decrease stress and increase die life. In this paper, we have studied about the effect of fitting type. When the die insert is splitted into several pieces, the maximum stress could be decreased as much as 50~70%. The fitting angle could be selected to minimize the maximum stress and the variation of stress on loading and unloading. In F.E.M. result, in case of 3° fitting angle, the maximum and variation of stress may be minimized.

Key Words : Stress Ring, Finite Element Method, Shrink Fitting, Die Insert

1. 서 론

냉간단조에 사용되는 금형은 성형시 높은 압력을 받으므로 일반적으로 보강링을 갖는 구조를 채택하고 있다. 보강링 구조는 응력의 불연속면을 발생시켜 분할면에서 응력의 급격한 감소를 일으키며, 외부의 보강링으로써 미리 압축방향의 예압을 작용시켜 성형중에 발생하는 인장응력을 상쇄시킬 수 있어 인서트에 더 큰 안정성을 부과할 수 있다. 이러한 보강링 구조에서 설계의 주안점은 보강링 수 및 분할면의 공차 등이다. 특히, 연속적으로 성형이 이루어지는 다단 포머에서는 순간적으로 높은 압력이 발생하는 금형 부위에 다양한 방법을 사용하여 인서트를 보강해주는가 하는 것이 설계의 주요 현안이 될

수 있을 것이다.

T. Altan⁽¹⁾ 등은 FORMEX 시스템에 상용 CAD 시스템과 강소성 유한요소 프로그램인 DEFORM을 접목시킨 공정설계 전문가 시스템을 개발하였다. J. C. Choi 등^(2~4)은 Lamé 식을 이용하여 축대칭 다단 제품의 전방압 출시 사용 가능한 금형 및 공정설계 전문가 시스템을 LISP 언어를 사용하여 구축하였고, H. S. Kim⁽⁵⁾은 축대칭 부품의 냉간단조에 대한 공정수 감소와 성형하중 균일화의 관점에서 재설계가 가능한 공정설계용 전문가 시스템을 개발하였다. 이상에서와 같이 현재까지는 성형품의 단면이 일정하여 금형내부에 균일한 내압이 발생하는 것으로 고려하여 보강링을 설계하여 왔다. 그러나, 실제 냉간단조로 생산되는 제품의 단면이 일정한 것은 거의

* 한국기계연구원 재료공정연구부
** IBF(소성가공연구소), Aachen공대
*** (주)센트랄

없으며 또한 균일한 내압이 발생하는 경우도 없다.

따라서, 본 연구에서는 단면이 제품의 길이방향에 대하여 일정하지 않은 자동차용 현가장치에 사용되는 부품인 볼 스테드에 대하여 강-소성 유한요소 해석 프로그램인 DEFORM을 사용하여 소재의 변형을 강-소성 모드로 해석하고 금형에 대하여 탄성모드 해석을 수행하여 보강링의 형상에 대한 금형의 응력분포를 비교함으로써 성형시 최대응력의 크기와 부하 및 제하시 응력 진폭을 최소로 할 수 있는 금형의 보강방식을 선정하고자 하였다.

2. 파손금형 유형 분석과 분할방식 분류

해석 대상으로 하는 금형은 최종상태의 것으로 볼 스테드의 볼 부분을 성형하는 공정에 사용되는 금형이다. 냉간 포머에서의 금형 배열은 Fig. 1에서와 같이 최종볼의 성형전 앞 단계에서 볼 성형을 위한 예비성형체를 성형하고 마지막 4단계에서 볼 부분을 완성하도록 구성되어 있다.

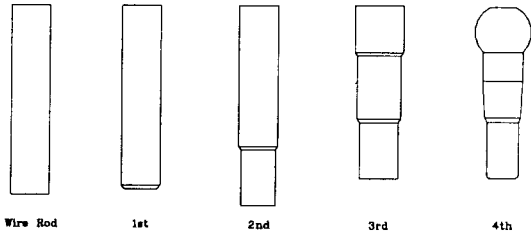


Fig. 1 The cold forging process for ball stud

안전한 금형설계를 위하여 필요한 공정변수는 보강링의 수, 분할방법 및 Fitting 각도 등이다. 냉간단조 금형의 보강링을 위한 분할 방법에는 수평분할법과 수직 분할법이 있으며 성형 하중에 따라 보강링의 수를 증가시키는 경우도 있다. 본 연구에서는 금형파손의 원인 분석을 위해 실제 파손된 금형의 분할 형식과 파손 유형을 분석한 후 보강링 설계에 따른 균열 발생 가능성 감소 방안을 마련하고자 하였다. 분석에 사용된 파손 금형은 총 20개로, 분석결과 응력집중 현상에 의해 발생하는 가로균열 파손은 7개, 보강링 설계에 의해 좌우되는 세로 균열 파손의 경우는 8개, 기타 금형 연마 및 후처리 불량에 의한 표면균열(플레이크 박리)의 경우는 5개로 나타났다. 따라서, 보강링 설계를 개선하면 금형 파손을 감소시킬 수 있는 경우도 많은 비중을 차지함을 알 수 있었다. 본 연구에서는 파손된 금형의 분할 방식을 기준으로 수평분할과 수직분할을 조합한 경우의 수를 구분하여 분석하였

으며 Fig. 2는 4가지 경우의 금형 보강법에 대한 개략도를 나타내었다. Fig. 2(a)의 2-piece type은 내부 인서트가 일체형으로 구성되어 있으며, (b)의 3-piece의 A type과 (c)의 B type은 그 형상은 동일하나 각각의 하부 insert의 크기가 다르다. (d)는 보강링의 수를 증가시킨 경우로서 위의 4가지 경우에 대한 보강링의 형태, 수에 따른 영향을 분석하였다. 또한, 수직 분할된 면의 분할 각도에 따른 영향을 분석하고자 Fig. 2(d)의 경우에 대하여 물체 1과 4, 2와 3의 경사각에 따른 영향을 분석하였다.

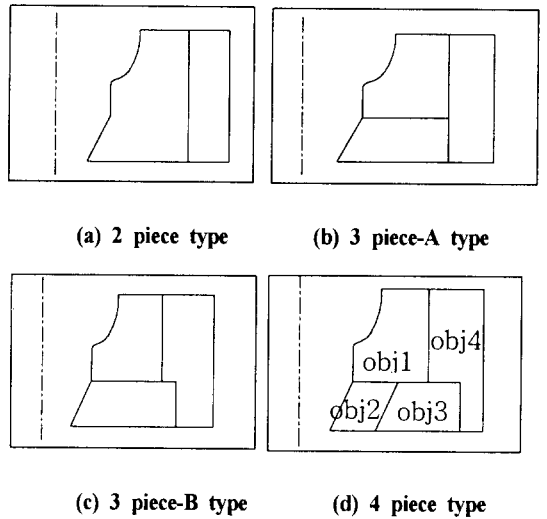
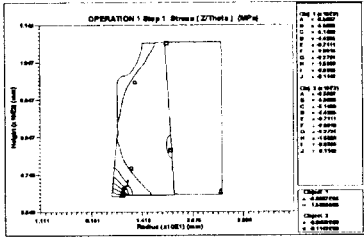


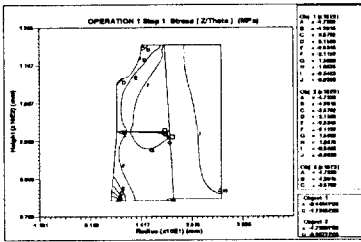
Fig. 2 Shrink fitting type for cold forging of ball stud

3. 유한요소해석에 의한 분할 방식의 영향 분석

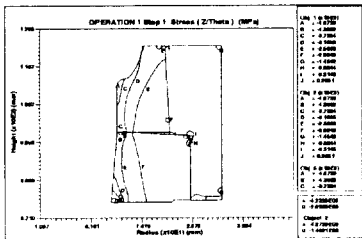
Fig. 3은 최종단계의 성형시 초경 인서트의 분할 방식에 따른 최종상태에서 금형에 발생하는 응력 분포를 나타내었다. 초경 인서트가 일체형인 2-piece인 경우 인서트의 양 끝단에 응력이 집중되어 초경의 압축 항복 강도를 초과하는 응력이 발생할 가능성이 있다. 하지만 수평 분할된 3-piece-A 및 3-piece-B의 경우 응력의 분포가 일체형인 경우에 비하여 보다 균일하게 분포함을 볼 수 있다. 또한, 볼 스테드의 성형시 큰 하중을 받는 테이퍼부에 해당하는 초경 인서트의 두께가 더 두꺼운 3-piece-B의 경우가 테이퍼부의 초경 인서트에서 보다 안전한 응력분포를 나타내고 있다. 최종상태에서 제품의 성형에 의한 내압이 발생할 경우 응력은 볼 성형부 바로



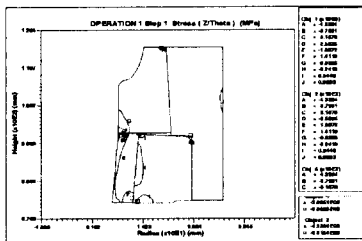
(a) 2 piece type



(b) 3 piece-A type



(c) 3 piece-B type



(d) 4 piece type

Fig. 3 The hoop stress distribution according to the fitting type

아래에 위치한 직선부 보다 테이퍼부에 더 집중되므로 테이퍼부를 한번 더 수직으로 분할해서 외부 인장응력에 견딜 수 있는 재질의 보강링을 더 추가하는 (d)의 4-piece 의 경우가 현재까지 가장 양호한 응력 분포를 얻을 수 있음을 알 수 있다.

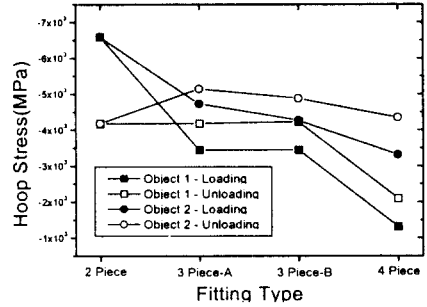
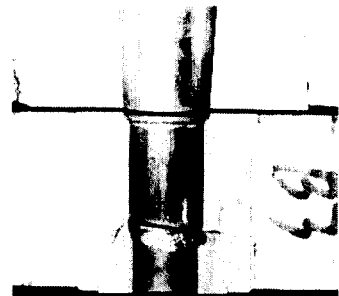


Fig. 4 The maximum hoop stress according to the fitting type

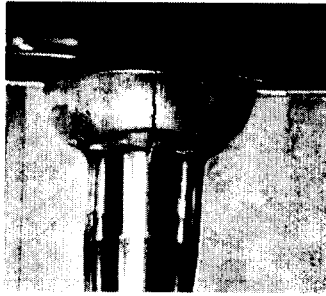
Fig. 4는 각 형태에 따른 원주방향 응력의 변화 그래프로서 가장 파손이 심한 부분인 물체 1과 2의 응력 상태는 수평 분할이 이루어짐에 따라 성형시 2-piece 경우보다 응력이 물체 1은 70% 이상, 물체 2는 50% 이상 감소되고 있음을 알 수 있다. 이것은 금형의 파손 현상을 보여주고 있는 Fig. 5의 결과와 잘 일치하고 있음을 볼 수 있다.

Fig. 6은 응력분포가 가장 양호한 4-piece 방식의 금형에 대하여 인서트와 보강링의 Fitting 각도를 0°, 3° 및 5° 로 하였을 경우 각각의 금형에 작용하는 응력분포를 나타내었다. 금형의 파손에 주된 원인인 원주방향 응력을 비교해 볼 때 5° 인 경우가 가장 낮은 응력의 범위를 나타내고 있으나, 이 경우 초경 인서트의 일부분에 인장 응력이 발생하므로 파손을 예측할 수 있다.

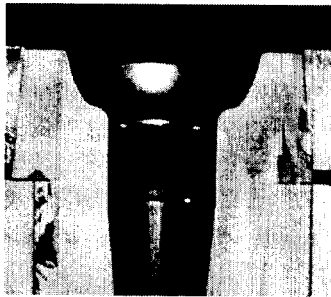
따라서, Fitting 각도가 3° 인 경우가 초경 인서트의 안정성 측면에서는 더 우수한 설계라 할 수 있다. Fig. 7은 Fitting 경사각에 따른 유효응력과 원주방향 응력 및 반경방향 응력을 나타내고 있다.



(Horizontal crack)

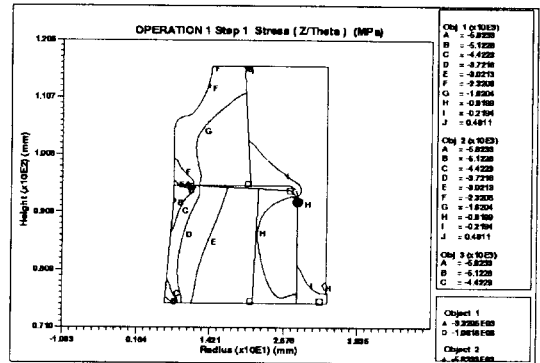


(Vertical crack)

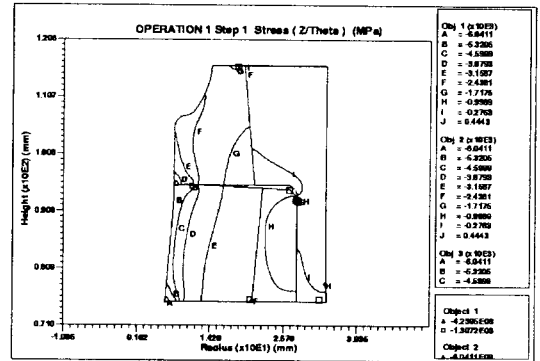


(Flake crack)

Fig. 5 The fracture shapes on cold forging die

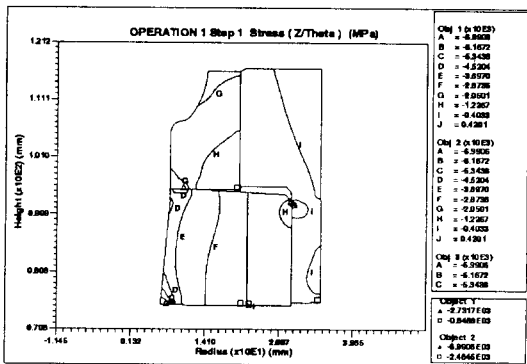


(b) Fitting angle : 3°

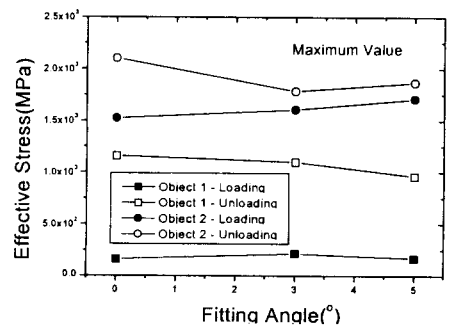


(c) Fitting angle : 5°

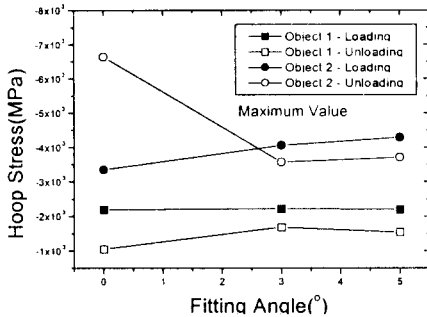
Fig. 6 The hoop stress distribution according to the fitting angle



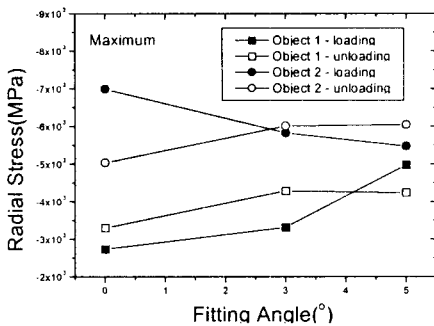
(a) Fitting angle : 0°



(a) Effective stress



(b) Hoop stress



(c) Radial stress

Fig. 7 The correlation of maximum stress and fitting angle

유효응력은 각도 3° 일때가 최소 응력값과 성형 (Loading)시와 제하(Unloading)시 피로 파손의 원인이 되는 응력 진폭이 최소값을 나타내고 있다. 또한, 반경방향 응력과 원주방향 응력도 동일한 경향을 나타내고 있으므로 파손의 위험이 가장 미소함을 알 수 있다.

4. 결론

냉간단조용 금형의 보강방식에 따른 금형의 응력 분포를 분석하여 금형의 파손 방지 대책을 마련하고자 금형의 분할 방식과 분할면의 경사각에 따른 영향을 유한요소해석 결과와 실 금형 파손의 경우를 정리하여 비교·고찰한 결과는 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) 금형의 분할은 단조품의 단면이 변화되는 부분을 기준으로 분할하는 것을 원칙으로 일체형에서 최대 3부

분으로 분할 한 결과, 성형시 50% ~ 70%에 이르는 응력 감소 효과를 나타내었다.

(2) 금형 분할면의 각도 영향에 따른 결과는 경사각이 3° 일때가 유효응력, 반경방향응력, 원주방향응력 모두 가장 낮은 응력분포를 갖는 특성을 나타내었다. 따라서, 금형 수명 향상을 위해서는 금형 분할면의 경사각 또한 고려해야 할 중요한 변수임을 알 수 있었다.

후 기

본 연구는 (주)센트랄을 통한 산업자원부 G7사업의 연구비의 지원에 의하여 수행되었으며, 이에 관계자 여러분께 감사드립니다.

참 고 문 헌

- (1) H. K. Kim and T. Altan, 1992, "Computer-Aided Part and Processing-Sequence Design in Cold Forging," J. of Materials Processing Technology, Vol. 33, pp. 55~74.
- (2) 최재찬, 김병민, 진인태, 김형섭, 1988, "퍼스널 컴퓨터에 의한 냉간 단조공정 및 금형설계의 자동화에 관한 연구(I)," 대한기계학회 논문집, 제 12 권, 제 4 호, pp. 712~720.
- (3) 최재찬, 김병민, 김형섭, 허만조, 1989, "PC에 의한 냉간단조공정 및 금형설계의 전산화에 관한 연구(II)," 대한기계학회 논문집, 제 13 권 제 1 호 한국정밀공학 회지, pp. 190~198.
- (4) 김형섭, 1990, "퍼스널 컴퓨터를 이용한 냉간단조 공정설계 및 금형설계의 자동화 시스템에 관한 연구," 부산대학교, 박사학위논문.
- (5) 김홍석, 1994, "축대칭형 제품의 냉간 단조 공정설계 전문가 시스템 개발," 한국과학기술원, 석사학위논문.