한국소성가공학회 2000년도 추계학술대회 논문집 pp.82~85

단 달림 형상의 예비성형체 성형에 대한 전방압출과 업셋팅 공정의 비교

송두호* · 박용복** · 김민응***

Comparision between Forward Extrusion and Upsetting Process for Preform with Stepped Shape

D. H. Song, Y. B. Park, and M. E. Kim

Abstract

In cold forging, the final product is usually given by multi-stage process and the preform with stepped shape can be manufactured through the various forging method. The forward extrusion and upsetting processes for preform with stepped shape have been analyzed by using the rigid-plastic finite element analysis code, InteFORM and compared for load and stroke according to the reduction of area. An engineer should select the proper processes considering the capacity and the stroke of the corresponding press in the forging of the preform with stepped shape.

Key Words : Preform, Stepped Shape, Upsetting, Forward Extrusion, Rigid-plastic Finite Element Method.

1. 서 론

자동차 및 각종 기계에 사용되는 기계부품의 제조에 있어서 냉간 단조 공정은 높은 생산성 때문에 많이 사용되고 있다. 일반적으로 냉간 단조 공정은 제품의 균열 및 고하중에 의한 금형 파손이 우려되므로 한단계 이상의 예비 성형이 요구된다. 이는 균일한 소재 유동을 유발시켜 만족할 만한 제품의 형상을 얻기 위해서일 뿐만 아니라 금형의 형상이 단순해져 금형제작이 용이해지며, 제품 성형시 발생되는 성형하중을 분산시켜 금형의 수명을 연장할 수 있기 때문이다. 따라서 냉간단조 공정설계에서 고려되는 공정 변수는 소재의 유동성이나 성형하중, 성형압력, 변형량 등의 소재에 직접적인 영향을 주는 변수들 뿐만이 아니라 금형에 영향을 주는 변수들과 이젝팅 길이나 프레스 용량과 같이 성형기계에 대한 변수들까지 고려되어야 한다.

* 공주대학교 대학원
** 공주대학교 기계공학부
*** (주) 대림 엠티아이

그러므로 동일한 형상의 제품이라도 다양한 공정이 설계될 수 있고, 일률적인 규칙의 적용은 곤란하지만, 대부분의 예비 성형 공정은 업셋팅, 전방압출, 후방압출의 세가지 공정으로 분류될 수 있고[1], 소재와 가공률에 따라 대량 생산에 적합한 경제적인 가공률이란 것이 있으며, 어느 정도의 가공률로 공정을 진행시키느냐의 여부는 금형 설계의 최초 단계에서 가장 중요한 요점이 된다.

최근에는 유한요소법을 이용한 해석이 성형 공정 설계 및 금형 설계에 이용되고 있으며[1]-[4], 현장에서 설계자의 경험과 실험에 의한 방식에 비해 시행 착오와 개발 시간 단축 및 비용 감소로 원가 절감 및 생산성 향상에 기여할 수 있다.

예비 성형체 설계에 있어서 동일형의 제품을 성형할 때 다른 모양의 블랭크에서 출발하여 성형할 수 있다. 따라서 본 연구의 목적은 현재 자동차 부품의 단조에 많이 쓰이는 탄소강에 대하여 단 달림 축을 성형하는데 있어서 전방압출과 업셋팅시 하중 및 스트로크를 비교하여 동일형의 제품을 성형할 때 단면감소율에 따른 최적의 가공방법을 유한요소 시뮬레이션을 통하여 찾아 보고자 한다.

2. 업셋팅과 전방압출에 의한 가공

2.1 업셋팅에 의한 가공

업셋팅은 소재에 축방향의 압축력을 가하여 지름을 증가시키는 공정으로서 헤딩(Heading)이라고도 한다. 업셋팅은 소재 측면의 구속 여부에 따라 자유 업셋팅(Open Upsetting)과 밀폐 업셋팅(Closed-die Upsetting)으로 나뉘어진다. 업셋팅시 나타나는 대표적인 결함은 소재의 측면부에 발생하는 균열에 따른 연성파괴와 소재 유동의 치우침으로 인하여 발생하는 좌굴이며, 밀폐 업셋팅시(Closed-die Upsetting)시에는 특히 소재 유동의 불완전으로 금형 내의 공간을 완전히 채우지 못하는 형상 결함이 있을 수 있다. 그러나 업셋팅 공정은 소재의 절단시에 발생하는 불균일 단면을 극복할 수 있다. Fig. 1은 좌굴 현상 방지를 위해 참고 문헌[5]에 제시된 설계방법이다.

2.2 전방압출에 의한 가공

전방압출은 소재에 축방향의 압축력을 가하여 초기 소재의 직경보다 작은 성형부를 갖는 금형으로 소재를 유동시켜 소재의 직경을 감소시키는 공정이다. 전방압출에서는 재료에 대한 균열은 거의 없지만 평균 압력이 높아 단면 감소율에 제약이 따른다. 또한 전방압출 금형은 업셋팅 금형에 비해 제작이 어렵고, 랜드부의 마모로 인해 금형 수명이 짧으며, 소재의 절단면이 균일하지 못할 시 후가공이 필요할 수 있다.

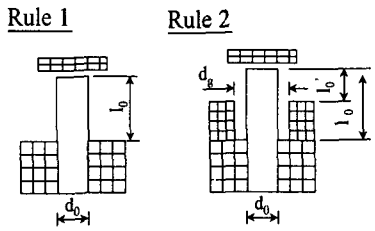


Fig. 1 Two basic rules to overcome in buckling upsetting

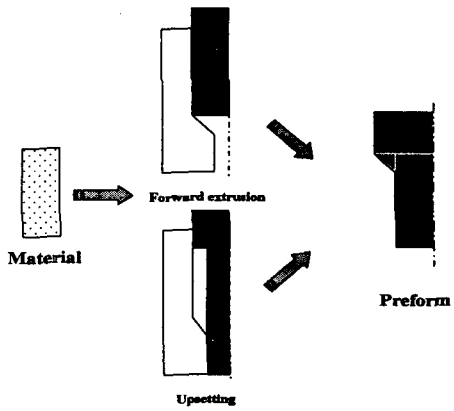


Fig. 2 Forming method for preform with stepped shape

3. 유한요소법의 적용 이론식 및 해석

3.1 강소성 유한요소법의 적용 이론식

소성가공에 대한 공정설계/공정해석/금형설계 프로그램인 InteFORM[1]을 이용하여 전방압출과 업셋팅에 대한 시뮬레이션을 수행하였으며, InteFORM은 다음과 같은 강소성식을 사용하고 있다.

구성방정식: $$\sigma_{ij}' = \frac{2}{3}\frac{\bar{\sigma}}{\bar{\varepsilon}}\dot{\varepsilon}_{ij} \qquad (1)$$

이때

$$\bar{\varepsilon} = \sqrt{\frac{2}{3}\ \dot{\varepsilon}_{ij}\ \dot{\varepsilon}_{ij}} \qquad \bar{\sigma} = \sqrt{\frac{3}{2}\ \sigma_{ij}'\ \sigma_{ij}'}$$

평형방정식 : $\sigma_{ij,j} + f_i = 0$ (2)

식 (2)에 변분정리를 적용하고 이를 정리하면 다음과 같은 변분방정식을 얻을 수 있다.

$$\int_V \bar{\sigma}\ \delta\bar{\varepsilon} dV + K\int_V \dot{\varepsilon}_V\ \delta\ \dot{\varepsilon}_V dV - \int_{S_f} f_i \delta v_i dS = 0 \qquad (3)$$

식 (3)에서 첫 항은 내부에너지(internal energy)를 나타내며 마지막 항은 외력에 의해서 재료에 작용하는 외부일(external work)를 나타낸다. 가운데 항은 소성변형 중에는 재료의 부피가 변하지 않는다는 비압축성 조건(incompressbility condition)을 만족시키기 위해서 벌칙함수(penalty constant method)를 적용한 것이다.

3.2 해석 결과 및 토론

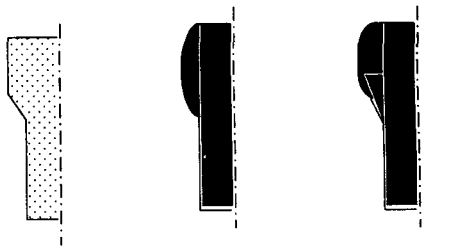
전방압출과 업셋팅 공정에 대하여 2차원으로 해석을 수행하였으며 소재는 SM45C이다. 응력-변형률 관계는 참고문헌[1]을 통하여 참조하였으며, 그 관계식 및 금형과 소재 접촉면에서의 마찰조건은 Table 1과 같다. 전방압출 해석시 다이의 압출각을 60^0로 하였으며, 업셋팅은 전방압출에서 만들어진 제품을 업셋팅공정에 적용하여 똑같은 제품을 만들때의 하중을 표시하였다.

Fig. 3은 전방압출과 업셋팅 공정을 이용하여 성형한 예비 성형체의 형상을 보여주고 있다. Fig. 3(b)는 소재가 벌징으로 금형에 접촉하였을 때이며 Fig. 3(c)는 소재가 금형에 90% 이상 채워진 상태이다.

Fig. 4는 전방압출 공정을 이용하여 단면 감소율이 각각 30%~60%일 때의 하중과, 똑같은 형상을 업셋팅 공정으로 성형했을 때의 하중을 보여주고 있다. 밀폐 업셋팅에서는 소재가 다이에 완전하게 충만하였을 때에는 전방압출 공정의 하중보다 높게 분포하지만 예비 성형 공정에서는 다이에 완전히 충만되지 않아도 후공정에 이용할 수 있으므로, 단면감소율 50% 정도의 가공은 업셋팅 공정을 이용할 경우에 전방압출 공정을 이용하는 것보다 작은 하중에서 가공할 수 있다. 그러나 단면감소율이 50% 이상의 경우에는 업셋팅 공정을 이용할 경우 소재의 직경에 비해 높이가 매우 커져 좌굴이 발생할 수도 있으므로 업셋팅 공정은 금형을 수정하지 않고서는 이용할수 없다.

Table 1 Conditions for FEM simulation

Material	SM45C
Size (전방압출)	$\phi 30 \times H40$
Stress-Strain Relation	$\bar{\sigma} = 97.02\ \bar{\varepsilon}^{0.14}\ (kgf/mm^2)$
Friction Factor	m = 0.12



(a) Forward extrusion (b) Upsetting 1 (c) Upsetting 2

Fig. 3 Preform shape after each process

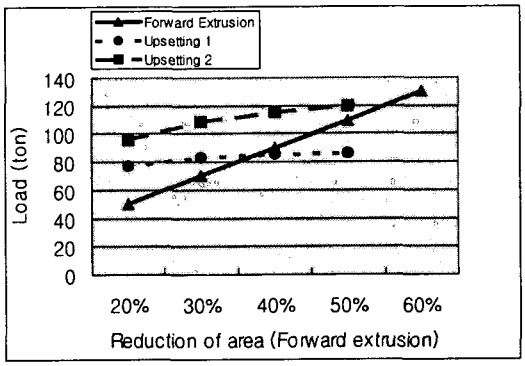
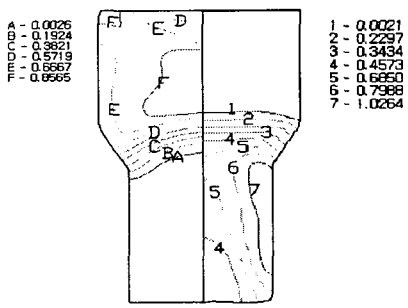


Fig. 4 Variation of forging loads for each process



<Upsetting> <Forward extrusion>

Fig. 5 Distributions of effective strain

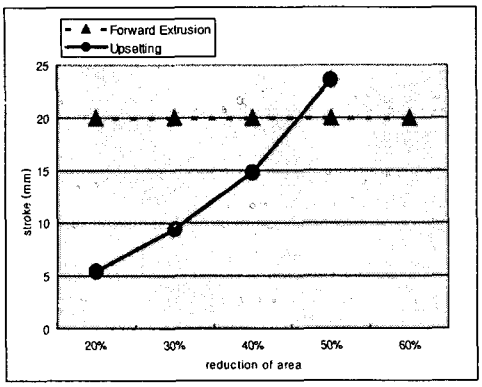


Fig. 6 Stroke in forward extrusion and upsetting process according to reduction of area

Fig. 5는 단면감소율 50%일 때 각 공정의 유효변형률을 보여주고 있다. 전방압출 공정의 경우 소재가 다이의 랜드부를 빠져 나오면서 최대 변형률을 가지며, 업셋팅 공정으로 성형할 경우에는 두부의 중간 부분에서 최대 변형률을 갖는다. 최종 제품의 사용 용도에 따라 아래 부분의 축부에 큰 강도를 필요할 경우에는 전방압출 공정을 이용하여 성형함으로서, 목적을 충족시킬 수 있고, 반대의 경우에는 업셋팅 공정을 이용하여 성형함으로서 강도를 높일 수 있다.

Fig. 6은 전방압출과 업셋팅 공정으로 성형할 경우의 스트로크로 업셋팅 공정에서는 단면 감소율이 증가할수록 스트로크가 급격히 증가함을 알 수 있다. 따라서 업셋팅 공정의 경우 전방압출 공정과 비교해서 같은 형상을 성형할 경우 단면 감소율이 약 45% 이상이면 더 큰 스트로크를 가지고 성형해야 한다.

4. 결 론

전방압출과 업셋팅 공정을 이용한 예비 성형체 성형에 대하여 해석 하였으며, 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) 업셋팅 공정을 이용하여 예비 성형체를 성형할 경우 소재가 금형에 채워지는 정도에 따라 전방압출에 비해 낮은 하중에서 성형할 수 있다.

(2) 전방압출 공정의 예비 성형체는 소재가 다이를 빠져 나오면서 최대 유효 변형률을 갖는 반면 업셋팅 공정에서는 두부에서 최대 유효 변형률을 갖는다.

(3) 예비 성형체 성형에 있어서 업셋팅 공정을 이용할 경우 단면 감소율에 따라 소재의 좌굴과 성형 기계의 스크로크를 고려하여야 한다.

그러므로 예비 성형체 성형은 성형 기계의 하중과 스트로크를 고려하여 전방압출과 엡셋팅 공정을 적절히 선택해야만 할 것이다.

참 고 문 헌

(1) 산업자원부, 1999, " 단조금형의 자동설계 기술개발에 관한 연구 (최종보고서) ", pp. 20~54.

(2) K. Sevenler, P.S. Raghupati, and T. Altan. 1987, "Forming Sequence Design for Multistage Cold Forming" J. of Mech. Work. Tech., Vol.14, pp. 121~135.

(3) T. Altan, and M. Konerr, 1991, "Application of the 2D Finite Element Method to Simulation of Cold-Forging Process" J. of Materials Processing Technology, Vol.35, pp. 275~276.

(4) W.T. Wu, G.J. Li, and J.P. Tang, 1994, " Finite Element Analysis of Three-Dimensional Metal flow in Cold and Hot Forming Process" Annals of the CIRP, Vol.43, pp. 235~239.

(5) M.I. Gokler, H. Darendeliler, and N.Elmaskaya, 1999, "Anlysis of Tapered Preforms in cold Upsetting" I. J. of Machine Tools & Manufacture, Vol. 39, pp. 1~16.