韓國精密工學會 '97年度 秋季學術大會論文集 pp.240~243

힌지 부품의 단조공정에서 성형한계 개선에 관한 연구
A Study on the Improvement of the Forming Limit in the Forged Hinge Product

김 영 호(부산대 정밀정형 및 금형가공연구소), 박 재 훈, 손 경 호*(부산대학교 대학원)
Young-Ho Kim(ERC Pusan National University), Jae-Hoon Park, Kyoung-Ho Son* (Pusan National University Graduate School)

ABSTRACT

This paper describes the process design and forming limit of the forged hinge product with the axial protrusion on the sheet metal. Process design is consisted of preform and forging process. In this case ,the forged hinge product can be formed in a single workpiece without assembling another axial part to it. Process design of the forged hinge product is analyzed by the commercial FEM program. It is known that process design with preform process , shown by the FEM simulaion , can bring the forming limit of the forged hinge product to a great expansion.

Key Words : FEM Simulation(유한요소 시뮬레이션), Forming Limit(성형 한계), Preform(예비성형체), Process Design(공정설계), Central Cavity(결함)

1. 서론

Hinge(힌지) 부품은 두 개이상의 부품을 결합, 연결시키기 위해 판재에 판재두께이상의 돌출된 축을 가지는 부품으로 가전제품, 자동차 등의 연결부위에 많이 쓰이고 있다.

두 개 이상의 부품을 결합, 연결하기위해서는 부착하고자 하는 부품에 구멍을 뚫고 이 구멍에 별도로 제작한 축부품을 끼워, 이 축의 일부를 변형시켜 결합하던가 또는 나사구조를 이용하여 부착하고자하는 부품에 구멍을 뚫고 이 구멍에 판재에서 성형한 축부품을 삽입하는 구조를 가지는 것이 보통이다.

축부품을 판재부품에 일체화시키기 위해 압입이나 접착, 용착등의 방법을 사용하고 있으며 어느 경우에라도 판재와 축부를 별도로 제작해야 한다.

이와 같이 축부를 판재와 별도로 제작하고 이들을 결합하는 공정을 거치는 종래의 기술로는 부품수와 작업공정이 많아지므로 부품 코스트가 높아질 문제가 있다.

따라서 본 연구에서는 축부를 따로 사용하지 않고 판재의 일부를 축형상으로 일체화 성형시킬 수 있는 압출 및 단조 공정에 대한 연구를 수행하였으며 그 결과를 보고하고자 한다.

축부를 일체화시킬 수 있는 압출공정은 성형조건이 부적합하면 central cavity와 같은 결함이 발생하며 이 결함발생이 축부를 압출시킬 수 있는 성형한계에 영향을 미치는 요인으로 인식되고 있다.

Kudo와 Johnson[1)2)]이 central cavity발생의 원인을 변형체에서 강체 삼각형의 유동으로써 설명하였고 Avitzur[3)4)]는 축대칭 전방압출시 일어나는 central cavity를 상계해법으로 연구하였으며 이에 대한 소재의 가공경화 및 공정변수의 영향을 해석하였다.

金丸 信夫등[5)]은 항공기용 알루미늄 단조부품에 대해 웨브두께/리브폭 비와 압하율에 따른 결함발생의 범위인 성형한계를 연구하였다. Wu등[6)7)]은 전방압출시 생기는 central cavity의 존재를 가정하고 상계법으로 단면감소율과 임계두께비에 대한 결과를 해석하고 실험을 통하여 검증하였다.

기존의 연구 결과들을 살펴보면 central cavity 등 결함의 발생없이 성형한계를 향상시킬 수 있는 공정설계에 관한 연구는 드물며, 특히 판재로부터 축부를 일체성형시키는 공정에 대한 연구는 그 예가 드물다.

따라서 본 연구에서는 예비성형체를 이용하여 central cavity의 결함발생 없이 판재에 축부를 일체성형시킬 수 있는 공정설계에 대한 연구를 수행하였으며, 축부의 성형한계 향상을 위한 공정설계를 상용 유한요소프로그램을 이용한 시뮬레이션 해석을 통해 그 가능성을 제시하고자 한다.

최근에 들어서는 축부의 형상이 중실이 아닌 중공의 경우에 대해서 드로잉과 압입공정을 이용한 공정설계 방법이 개발되어 마운틴포밍[8)]이란 공정으로 보고되어져 있으며, 본 보고서에 그 때의 재료유동 특성과 성형가능성도 함께 제시하고자 한다.

2. 축부의 성형한계 향상을 위한 공정설계

2.1 축부의 형상이 중실인 경우

판재에 축부를 일체성형시키기 위해 전방 압출공정을 이용하며, 그 공정의 개략도를 Fig.1에 나타낸다.

일반적인 전방압출공정에서는 Fig.1에 보이는 바와 같이 재료의 특성과 가공조건에 따라 어느 정도의 성형이 진행되면 central cavity가 발생하고, 이것이 최종제품의 결함으로 남게 되어 성형한계가 된다. 축부의 성형에 있어 성형한계에 즉, central cavity가 발생하는 시점에 영향을 미치는 변수는 판재의 두께에 대한 압출되는 축부의 폭 및 길이이다. 통상 이 한계값은 재질에 따라 틀리나 b/t=1이상이면 결함이 발생하는 것으로 보고되어져 있다.[6)7)]

이러한 결함없이 b/t=1 이상인 경우 판두께의 4~5배 길이의 축부를 판재에 일체 성형시킬 수 있는 방법으로 예비성형체를 포함하고 있는 압출과 단조의 연속공정을 제시하며, 그 공정도를 Fig.2에 나타낸다. Fig.2에 보인 바와 같이 예비성형공정에서 재료가 압출될 때 압출방향으로 경사를 주어 재료유동을 자연스럽게 만들어 줌으로써 성형한계를 향상시키고 있다.

다이의 경사각은 중요한 공정변수로써 예비성형체의 형상에 직접적인 영향을 주므로 경사각에 따른 결함이 발생하기 시작하는 두께, 즉 임계두께와의 상관관계를 조사하였다. 예비성형공정을 포함한 전 공정을 상용 유한요소프로그램을 이용하여 공정설계를 행하였으며 본 공정의 타당성을 검증하였다.

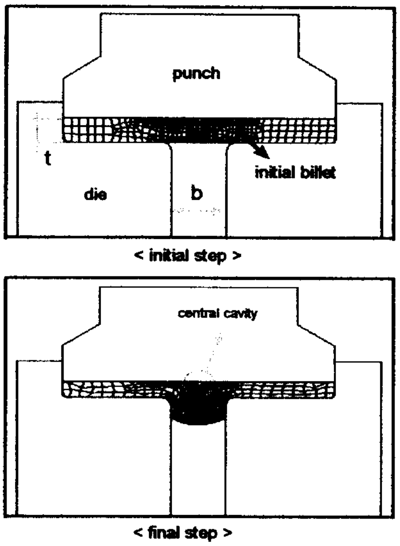

Fig.1 The conventional process of forward extrusion

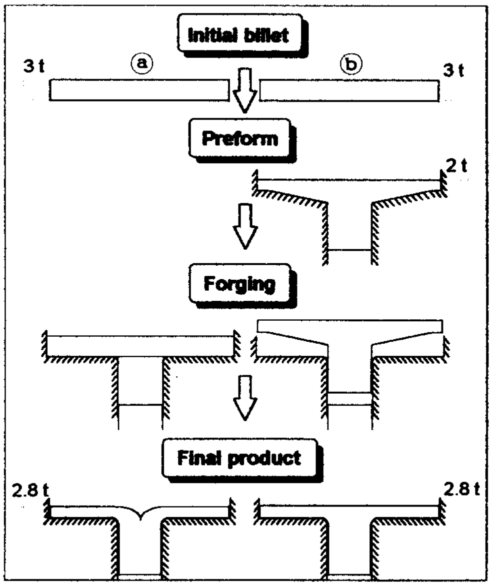

Fig.2 Comparison between the two of Hinge product forged process

2.2 축부의 형상이 중공인 경우

최근에 들어와 축부의 형상이 중공인 경우에 대해

판재에 축부를 일체성형시킬 수 있는 새로운 프레스 가공공법(마운틴포밍)이 보고되고 있다.
중공인 축부를 일체 성형시키기 위한 새로운 프레스 공법으로 제시된 성형공정은 Fig.3과 같다.

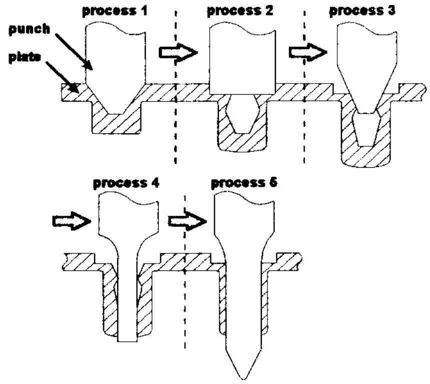

Fig.3 The process design of new sheet metal forming

Fig.3은 테이퍼형 펀치를 압입하여 반대편 재료를 돌출시키고(1공정) 돌출된 부분을 평펀치를 또다시 압입하여 돌출부분을 더욱 돌출시킨다(2공정). 다시 작은 테이퍼형 펀치를 압입하고(3공정) 구멍뚫기 공정(4공정)을 거친 후 최종 훑기 공정으로 축부의 길이를 길게 성형시킨다.

아직 이론적인 체계는 정립되어 있지 않고, 축부의 형상이 중공인 경우에 한해서만 적용할 수 있다는 단점이 있으나 그 응용범위는 클 것으로 생각되며, 따라서 본 연구에서는 이론 정립을 위한 기초 단계로 상용 유한요소해석 프로그램을 이용해 공정중에 일어나는 재료유동양상을 이해하고자 한다.

3. 성형공정 시뮬레이션

3.1 성형조건

본 연구의 유한요소 해석에 사용된 소재는 Al 2024이며, 응력-변형률 관계식은 다음과 같다.

$$\bar{\sigma} = 357\ \bar{\varepsilon}^{0.1588}\ (N/mm^2)$$

소재와 금형사이의 접촉면에서 마찰을 고려하기 위하여 마찰상수 m을 0.4로 하였으며, 축대칭 형상이므로 전체형상의 1/2만 해석하였다.

3.2 축부의 형상이 중실인 경우

축부의 형상이 중실인 축부의 일체 성형을 위해 예비성형공정을 포함한 최종 공정까지의 전 단계를 유한요소 시뮬레이션을 실시하였으며 그 결과는 아래와 같다.

우선 예비성형공정의 해석 결과로 Fig.4에 경사각에 따른 T_{cri}/t - b/t 선도를 보이고 있다. 경사각의 값이 작을수록 임계두께비(T_{cri}/t)는 두꺼워져 성형한계가 줄어들고 반대의 경우는 늘어난다. 임계두께비가 적다는 것은 체적일정의 법칙에 의해 압출되는 성형길이가 길어진다는 것을 뜻한다. 판재 두께에 대한 압출부분의 폭비(b/t)가 3이상인 경우는 경사각에 관계없이 성형성이 매우 낮다. 그러나 b/t가 2.7 이하, 경사각이 8.5 °이상인 영역은 선도의 어두운 부분에 속하게 되고 이것은 T_{cri}/t이 매우 작아 성형성이 높다는 것을 보이고 있다.

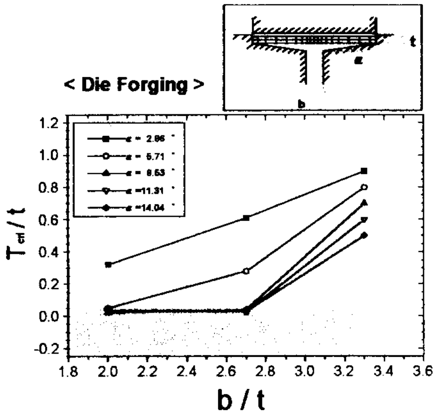

Fig.4 Forming limit of the preform

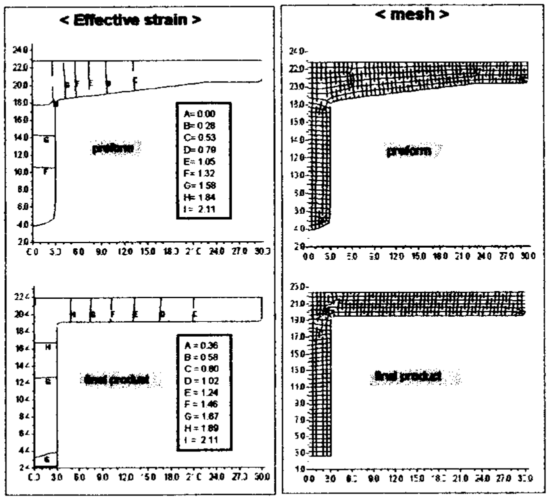

Fig.5 Result on the effective strain and mesh of forging operation from preform to final product

Fig.5는 예비성형공정을 포함한 힌지부품 성형공정의 시뮬레이션 결과로 예비성형체와 최종제품의 유효변형율과 mesh상태를 나타내고 있다.

Fig.5에서 보면 판재 두께에 대한 압출되는 축부의 폭비가 2일 경우로 축부의 성형 길이가 판재 두께(3t)의 5.5배이고 최종 제품의 두께는 2.8t로 성형되었음을 알 수 있다. 그러므로 기존의 힌지부품 성형공정으로는 불가능한 것을 예비성형체의 압출공정을 거쳐 단조함으로써 결함의 발생없이 힌지부품의 성형한계를 향상시킬 수 있었다.

3.3 축부의 형상이 중공인 경우

2.2절에서 제시한 공정 순서대로 시뮬레이션을 실시하여 각 공정중에 일어나는 재료유동의 양상과 그때의 변형율 상태를 Fig.6에 나타낸다.

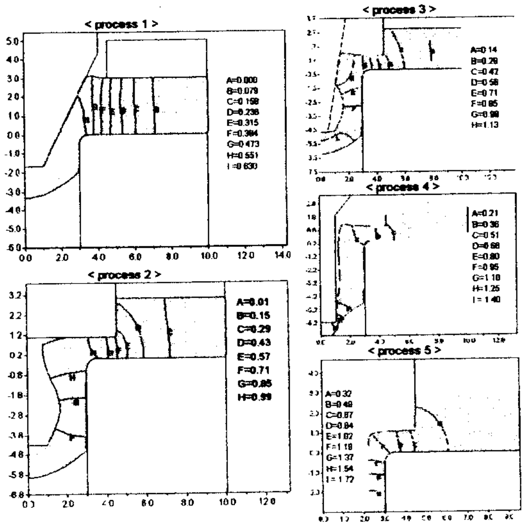

Fig.6 Result on the effective strain of new sheet metal forming process from initial billet to final product

Fig.6에서 보는 바와 같이 성형길이가 초기소재 두께의 2배정도인 성형성을 보이고 있으며, 중공인 축부의 일체성형이 가능함을 알 수 있다.

4. 결론

중실의 축부를 가지는 힌지 부품의 성형한계를 향상시키기 위해 예비성형체를 가지는 제품성형공정을 설계하였고 상용 유한요소 프로그램으로 공정설계의 시뮬레이션 해석을 수행하여 성형한계를 해석하였다. 이를 통해 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. 판재의 초기 두께에 대한 압출되는 축부의 폭비(b/t)가 1까지만 성형할 수 있었던 기존의 성형공정에 비해 경사를 줌으로써 축부의 폭비를 3까지 늘려 성형한계를 향상시킬 수 있었다.

2. 경사각이 4° ~15° 인 범위에서 힌지부품의 성형공정은 초기소재두께의 80%이상까지 성형이 가능하여 높은 성형성을 보였다.

3. 예비성형체를 이용하여 축부를 일체성형시키는 성형공정을 개발함으로써, 기존의 힌지부품의 성형공정에 비해 생산공정을 줄여 부품의 생산성을 높일 수 있는 가능성을 제시하였다.

참고문헌

1. H. Kudo, " Some Analytical and Experimental Studies of Axisymmetric Cold Forging and Extrusion (II) ", Int. J. Mech. Sci.,vol.3 no.2, pp91-117, 1961
2. W. Johnson and H. Kudo, The Mechanics of Metal Extrusion, Manchester University Press, London , 1952
3. B.Avitzur,"Analysis of Central Bursting Defects in Drawing,Extrusion and Rolling ", Trans. ASME B, vol.90 no.1 pp79-91 ,1968
4. Z.Zimmerman and B.Avitzur, " Analysis of the Effect of Strain Hardening on Central Bursting Defects in Drawing and Extrusion ", Trans. ASME B, vol.92 no.1, pp135-145, 1970
5. 金丸 信夫, 律田 統 ,中尾 正和, 長谷川 淳, 福田 篤實 , " 航空機用アルミニウム合金製リブ・ウエブ部材の鍛造過程のシミュレーション " , 第 42回 塑性加工連合講演會,pp.515-518,(1991. 9. 25~27)
6. S. Wu, M.Li, " Analysis of the central cavity of axisymmetric forward extrusion by the upper bound approach." Journal of Materials Engineering and Performance, Vol.1 pp409-414 ,1992
7. Wu Shichun and Li Miaoquan, A study of cup-cup axisymmetric combined extrusion by the upper-bound approach, II.Prediction of defects, J.Mech.Work.Technol., vol 19 pp129-149 1989
8. " MONTHLY JOURNAL OF PRESS & MOLD TECHNOLOGY " vol.10 no.9 pp72-76 1997