

# 연성파괴를 고려한 6각 피팅너트 예비성형체 설계

박태준\* · 김동진\*\* · 김병민\*\*

## Design of Hexagonal Fitting Nut Preform Considering Ductile Fracture

T. J. Park, D. J. Kim, and B. M. Kim

### Abstract

In the multi-stage former, manufacture of hexagonal fitting nut was generated in a defective products about 70~80%. Defective products reduced in a product stiffness and increased a product cost. Defects for manufacturing hexagonal fitting nut caused in a increase of ductile fracture value. So in the study, a preform designed to reduce ductile fracture value and designed preform verified through the finite element simulation. In conclusion, Ductile fracture value reduced if A round dimension of preform reduced and a part of opposition angle contributed in plenty a volume.

**Key Words** : Hexagonal Fitting Nut, Ductile Fracture, Multi-Stage Cold Forging, Preform Design, FE-Analysis.

### 1. 서 론

상온에서의 금속성형공정은 소재의 손실을 최소화하고 기계적 성질 및 치수정도가 우수한 제품의 성형이 가능하다. 특히 냉간가공은 가공속도가 빠르고 성형 장비가 간단하므로 생산성을 향상시켜 대량 생산이 가능하게 하므로 생산 단가의 저하와 함께 제품의 경쟁력을 강화시킬 수 있다. 그러나 열간에 비해 냉간에서의 금속의 성형은 높은 가공경화에 의한 성형 하중의 증가와 소재의 큰 변형에 의한 소재 내부에 국부적인 결함을 가져오게 된다. 이러한 결함의 종류에는 내부 중심축 선상에서의 연성파괴나, 불안정한 유동에 의한 유동결합 같은 내부결합과, 냉간 압출공정에서 일반적으로 발생하는 파이

핑(piping) 결합 같은 외부결합으로 구분할 수 있다. 특히, 소재에 가해지는 변형이 소재의 변형한계를 초과하게 될 경우 발생하게 되는 연성파괴는 변형한계가 열간에 비해 냉간에서 훨씬 작기 때문에 냉간가공 중에 파괴가 많이 발생한다. 따라서 냉간가공중에 연성파괴가 발생하지 않도록 공정 설계 단계에서 미리 예측하고 성형 중에 결함이 발생하지 않도록 하는 예비성형체의 형상 및 금형 설계가 요구되고 있다.

본 연구에 대상 제품은 일반적인 기계요소로 널리 사용되고 있는 6각 피팅너트로 성형시 대각과 대변의 길이 차이로 인해 성형시 불균일한 소재 유동이 발생한다. 따라서 대변에서 대각으로 소재 유동이 과도하게 발생하면 대변의 중심축상으로 표면이 갈라지는 결함이 발생한다.

\* 부산대 대학원 정밀기계공학과

\*\* 부산대 정밀정형 및 금형가공 연구소

또한 결함이 발생하지 않더라도 제품 표면의 미세한 크랙들이 제품 내벽에 존재하여 제품 강도 및 수명을 저하시키는 원인으로 작용한다. 이러한 결함에 의한 제품의 불량은 전 제품의 70~80%에서 발생하며, 그 중 60% 정도는 결함이 발생한 부분을 기계가공하여 제품을 생산하고 있다. 이로 인해 재료 손실 및 추가 부담으로 제품 단가를 상승시키고 생산성을 저하시키는 요인으로 작용한다.

따라서 본 연구에서는 6각 피팅너트 성형시 발생하는 결함의 원인을 규명하고 결함을 방지할 수 있는 예비성형체를 설계하여 결함 발생을 미연에 방지하고자 한다.

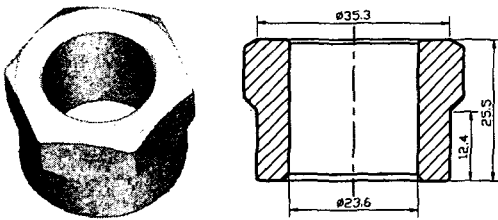


Fig. 1 A shape and dimension of hexagonal fitting nut

## 2. 결함의 발생 및 원인 파악

### 2.1 6각 피팅너트의 성형시 발생하는 결함

냉간단단 공정에 의한 6각 피팅너트의 성형공정은 치수 정밀도와 편치의 편심을 방지하기 위해 1공정에는 옆세팅 공정으로 성형하고, 2공정에서는 1공정 성형시 성형되지 않는 절단면에 대한 편치의 파손 방지 및 치수 정밀도를 위한 옆세팅공정과 후방압출 공정을 혼합하여 성형한다. 3공정과 4공정에서는 6각 너트의 6각 형상을 성형하기 위해 후방압출 공정으로 성형하고, 마지막 5공정에서 피어싱하여 최종 제품을 성형한다. Fig. 2에 6각 피팅너트의 성형공정을 나타내었다. 이러한 공정을 통해 생산된 제품의 결함의 형상을 파악하기 위해 각 단계의 공정에 대한 성형된 제품을 100배 현미경 촬영을 하여 분석하였다. Fig.3에서 보여지듯이 3공정 성형 후 대변에서 축 내경 둘레에 미세한 크랙이 나타났으며, 4공정 성

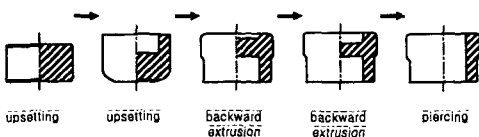
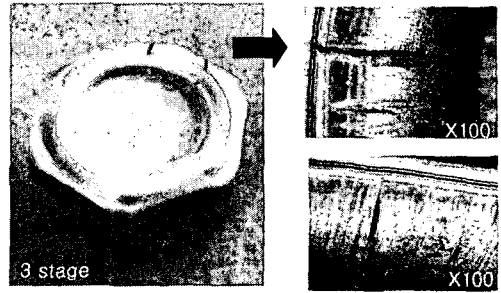
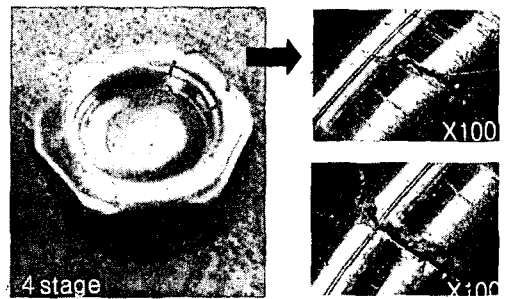


Fig. 2 Process sequences of pitting nut



(a) Defects appeared on a product after 3 stage process



(b) Defects appeared on a product after 4 stage process

Fig. 3 A microscope(100 scale) photographing

형 후 결함이 발생하였다. 따라서 3공정에서 발생한 미세 크랙이 4공정에서 성장하여 제품에 결함이 발생하는 것으로 판단되었다.

### 2.2 결함 원인 파악을 위한 유한요소해석

6각 피팅너트 성형시 발생하는 결함의 원인을 파악하기 위해서 유한요소해석을 수행하였다. 6각 피팅너트를 성형하기 위해 사용되는 소재는 AISI1015이며 소재에 대해 압축실험을 수행하여 다음과 같은 응력-변형률 관계식을 얻었다.

$$\bar{\sigma} = 774.04 \bar{\epsilon}^{0.1} (Mpa) \quad (1)$$

소재와 금형간의 마찰은 원소재를 인산염 피막처리 후 본드루베(bond ruve) 윤활 처리를 하여 전단 마찰 상수 값(m)은 0,1이었다. 성형해석은 결함이 발생하는 3공정에 대해서 수행하였다. 기존 공정에서의 예비성형체의 형상은 직경이 35.4mm, 높이가 24,9mm이고 곡률부의 라운드가 5mm였다.(Fig. 4) 성형해석은 상용해석 코드인 DEFORM-3D를 사용하였으며 대칭축이 6개이므로 1/12

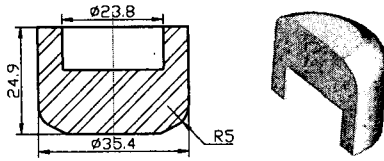


Fig. 4 A shape of preform in the conventional processes

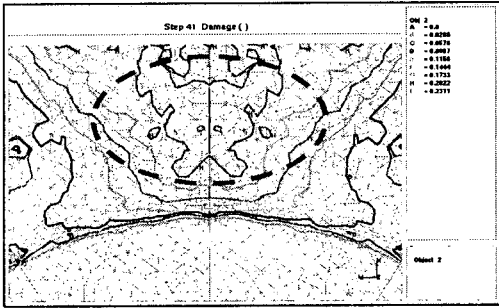


Fig. 5 Damage distribution of FE simulation

단면으로 성형해석을 수행하였다. 해석결과 미세크랙이 발생된 부근의 높은 연성파괴 값의 분포를 나타내었으며, 최대 연성파괴 값은 0.2311이었다. 따라서 결함의 발생 원인은 3공정 너트 형상 성형시 대칭축을 기준으로 대각으로 소재 유동이 발생하고 상대적으로 대변의 소재가 양쪽 대각 방향으로 유동되어지려고 하기 때문에 대변에서의 변형이 변형한계를 초과하여 연성 파괴에 의한 결함이 발생하는 것으로 생각되었다. 이러한 연성 파괴에 의한 결함을 방지하기 위해서 3공정 성형시 소재의 유동을 조절하여 변형량을 감소시킬수 있는 예비성형체 설계가 요구되어졌다.

### 3. 예비성형체 설계

#### 3.1 곡률부 값을 고려한 예비성형체 설계

3공정 성형시 6각 너트 형상 변형량을 줄이기 위해서 예비성형체 곡률부에 의한 연성파괴 값의 변화를 평가하였다. 성형조건은 예비성형체의 곡률부 치수만 0, 2, 8mm로 달리 하면서 기존 공정과 동일한 조건으로 해석을 수행하였다. 수행한 결과 곡률부를 작게 할수록 연성 파괴 값이 감소하는 것으로 나타났다. Fig. 6은 곡률부의 변화에 대해 연성파괴 값의 변화를 나타내었다. 그러나 곡률부를 작게 했을 때 연성파괴 값은 저하되나 성형시 소재가 급형의 외각으로 플래쉬가 생기는 것으로 나타났다.(Fig. 6) 따라서 이러한 곡률부 값의 변화에 의해서 연성파괴 값의 저하는 한계를 가지고 있으며, 그 한계이

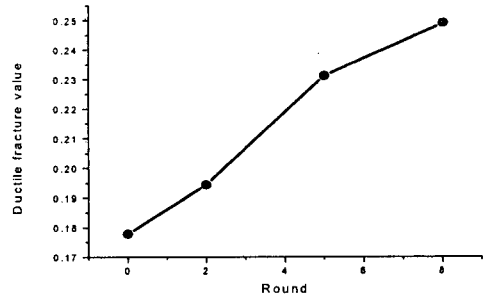


Fig. 6 Ductile fracture values with round variance

하에서는 플래쉬가 발생하여 제품의 성형이 되지 않는 것을 알 수 있었다. 이러한 플래쉬가 발생하지 않고 연성파괴 값을 저하시킬 수 있는 곡률부의 최적의 값을 얻기 위해서 시행착오법으로 성형해석을 수행하여 곡률부 치수가 4.2mm 이상이 되면 플래쉬가 발생되지 않는 것으로 나타났다. 곡률부가 4.2mm일 때 최대 연성파괴 값은 0.2236이었다. 기존의 곡률부가 5mm일때의 연성파괴 값보다는 저하되었지만 결함을 방지하기는 어려울 것으로 예상되었다. 이러한 곡률부의 치수의 변화에 의해서는 효과적인 연성파괴 값의 감소는 할 수 없는 것으로 나타났기 때문에 소재 유동을 고려한 새로운 예비성형체의 형상의 설계가 필요함을 알 수 있었다.

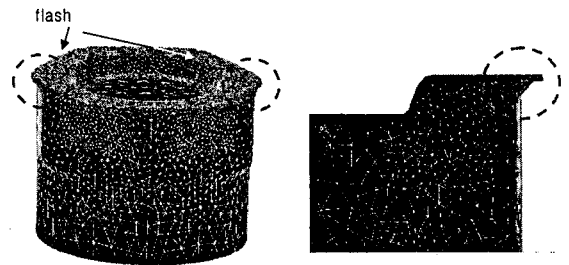


Fig. 7 A Deformation shape in round 2mm of preform

#### 3.2 소재 유량을 고려한 예비성형체 설계

소재 유동의 불균일로 인한 변형량의 증가로 연성파괴가 발생하기 때문에 예비성형체 성형시 미리 대각이 성형될 부위에 소재 체적을 많이 분배하고, 대변에는 상대적으로 작은 소재 체적을 분배하는 예비성형체 형상을 제시하였다. 제시된 예비성형체의 형상은 Fig. 8과 같이 대각이 성형되는 부위의 꼭지점으로부터 대변을 성형하는 부위까지 30°의 각도로 체적을 배분하였으며, 설계

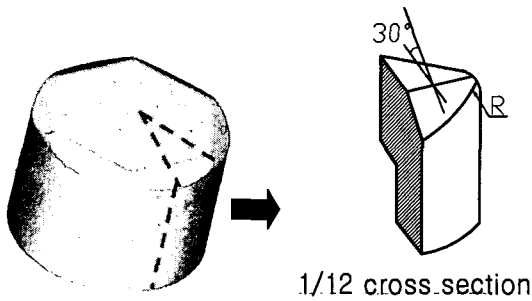


Fig. 8 A shape of preform

된 형상에서 곡률부 치수를 변화시켜 플래시가 발생하지 않고 연성과파괴 값이 가장 작은 최적의 예비성형체 형상을 얻기 위해 유한요소해석을 수행하였다. 곡률부의 치수는 곡률부 치수만 변화했을 때 플래시가 발생하지 않는 최적의 조건인 4.2mm를 기준으로 2, 5mm로 선정하였다. 선정된 조건으로 새롭게 설계된 예비성형체에 대해 해석을 수행한 결과와 곡률부의 치수만 변화시켜 얻은 연성과파괴 값을 Fig 9에 나타내었다. 연성과파괴 값이 가장 작은 성형조건은 대각에서 대변으로 각을 주어 체적을 배분하고 곡률부 치수가 2mm인 경우인 것으로 나타났다으나, 역시 성형시 플래시의 발생으로 인해 제품이 성형되지 않는 것으로 나타났다. 따라서 플래시가 발생하지 않고 연성 파괴 값이 가장 작은 경우는 대각에서 대변으로 30°의 각도로 체적을 배분하고, 곡률부의 값이 4.2mm로 예비성형체를 설계했을 경우로 나타났다. Fig. 10에 구해진 조건의 예비성형체 형상과 유한요소해석 결과에 대해 나타내었다.

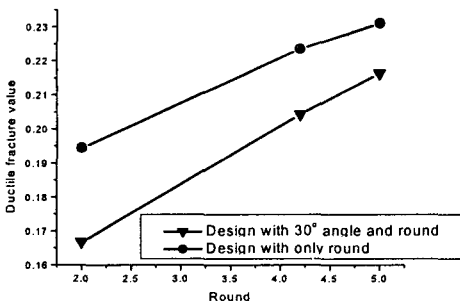


Fig. 9 Ductile fracture values with preforms variance

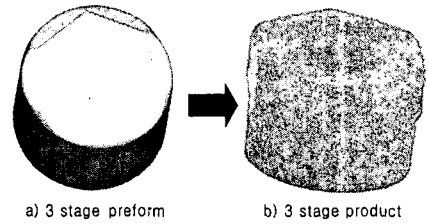


Fig. 10 The opt. preform and deformation shape

#### 4. 결론

본 연구에서는 기계부품 요소로 널리 사용되는 6각 피팅너트의 성형시 발생하는 결함의 발생을 규명하고 유한요소해석을 통해 결함 발생 원인을 규명하였다. 이를 근거로 결함을 방지할 수 있는 예비성형체의 형상을 제시하였다. 제시된 예비성형체를 유한요소해석을 통해 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) 3공정 성형시 변형량을 감소시키기 위해 예비성형체의 곡률부의 치수를 작게하면 연성과파괴 값이 감소하지만 곡률부 치수가 4.2mm이하가 되면 플래시가 발생하여 제품이 성형되지 못하는 것을 알 수 있었다.

(2) 대각이 성형되는 부위에는 체적을 많이 분배하고, 대변이 성형되는 부위에는 상대적으로 체적을 적게 분배하기 위해 30°의 각도로 예비성형체 형상을 설계하였을 때 연성과파괴 값이 크게 감소되어지는 것을 알 수 있었다.

#### 후기

본 연구는 부산대학교 정밀정형 및 금형가공 연구 센터를 통한 한국과학재단의 우수연구센터의 지원금에 의한 것입니다.

#### 참고 문헌

- (1) T. Okamoto, T.Fukuda and H. Hagita, 1997, "Material Fracture in Cold Forging - Systematic Classification of Working Methods and Types of Cracking in Cold Forging", Source Book on Cold Forging, ASTM, pp. 216~226.
- (2) S.I. Oh, C.C. Chen and S. Kobayashi, 1979, "Ductility and the workability of Metals", J. Inst. Metals., p. 33.