

중실소재를 이용한 자동차 냉방기용 풀리의 냉간 단조 공정 설계

정덕진*, 김동진*, 김병민**

(1997년 6월 4일 접수)

Process Design of Cold Forging for Automobile Air Conditioner Pulley using a Solid Billet

D. J. Jeong, D. J. Kim and B. M. Kim

Abstract

Forging of an inner pulley for compressor clutch assembly of car air conditioner is investigated in this study. In cold forging of inner pulley, the design requirements are to keep the same height of the inner rib and the outer one, and to make uniform the hardness distribution in the forged product. Using the rigid-plastic finite element simulation, we design the optimal process conditions, which has a performing operation. Also the final product configuration of forging has to be designed again in view of the metal flow involved in the operation, derived from the finite element simulations. The forged pulley is investigated by checking the hardness distribution and it is noted that the distribution has improved to be even and high enough for industrial application.

Key Words : Process Design, Pulley, Shoulder Length, Hollow Billet, Solid Billet

1. 서 론

냉간단조로 제품을 생산하는데 있어서 생산 경비를 최소화하기 위해서는 초기소재를 이용하여 한 공정으로 냉간단조를 하는 것이 가장 효율적인 방법이라 할 수 있다. 그러나 제품의 형상 및 요구되는 설계조건에 따라 한 공정으로 최종 제품을 만드는 것이 어려운 경우가 대부분이다. 이러한 경우에는 예비성형체를 만들어 몇 번의 단조 공정으로 요구하는 제품을 만들고 있다. 생산 현장에서 최상의 제품을 생산하기 위해서는 보유 장비의 적합성, 생산 시간의 최소화 및 최소의 소재 투입량 등을 고려한 단조품의 형상 및 공정 설계를 하여야한다. 이렇게 설계된 공정 설

계 및 단조품의 형상도 제품을 대량 생산함에 따라 개선이 이루어지고 있다.

새로운 제품의 생산을 위한 성형공정의 개발에 소요되는 시간과 비용을 줄이기 위하여, 실제의 금형, 소재 유동, 금형 내의 충만 정도와 성형하중 등의 상세한 정보를 제공할 수 있는 기법들이 필요하다. 최근에는 성형 공정설계 및 금형설계에 있어서 컴퓨터와 수치기법의 발전으로 컴퓨터를 이용한 여러 가지 방법들이 활발히 이용되고 있다.^{1)~3)} 특히 유한요소법은 이와 같은 정보들을 상세히 제공할 수 있어 생산 과정의 시행착오를 줄일 수 있다. Lee 등은 유한요소법을 이용하여 등속 조인트 하우징의 공정 설계를 하였으며⁴⁾, Kobayashi 등은 역추적기법 이라는

* 부산대학교 기계공학부

** 부산대학교 대학원

새로운 개념을 도입하여 셸 노이징(shell nosing) 공정의 예비성형체를 설계하였다.¹⁵⁾ Kim등과 Jeong은 자동차 냉방기용 내부풀리를 예비성형체 없이 한 공정으로 생산할

수 있는 냉간단조 공정을 설계하였다.¹⁶⁾

자동차 냉방기용 압축기 결합체는 차량의 엔진으로부터 동력을 공급받아 단속역할을 수행하고 압축기에 동력을 공급해주는 자장형 클러치 결합체(magnetic clutch assembly)와 냉매를 가압하는 압축기(compressor)로 구성되어 있다. 클러치 결합체는 폴리결합체, 베어링 및 필드코어 결합체로 구성되어 있다. 폴리결합체는 브이자형 그루브(v-type groove)형상을 가진 시브(sheave)가 내부풀리 외부에 용접이 되어있고, 내부풀리 내부에는 베어링이 결합되어있다(Fig.1).

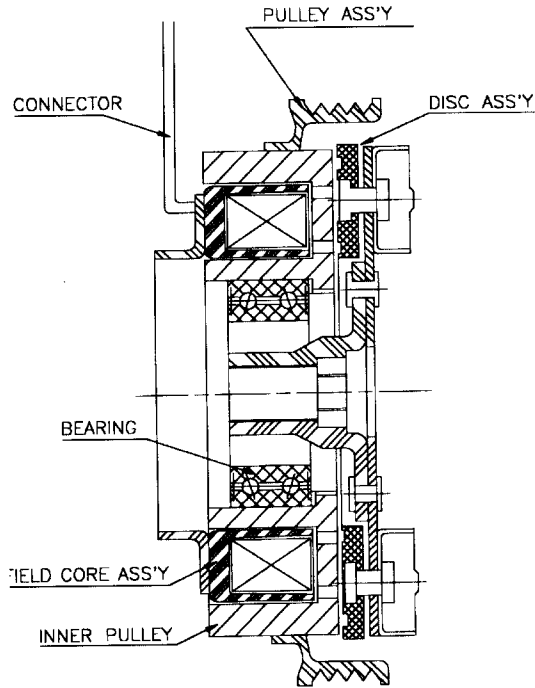


Fig. 1 Schematic diagram of clutch assembly for car air conditioner

본 연구에서는 이전 연구에서¹⁶⁾ 제안한 풀리의 성형공정을 검토하여 개선 가능성을 상용 강소성 유한요소해석 프로그램인 DEFORM¹⁷⁾을 사용하여 조사하였다. 또한 성형 공정 동안의 소재변형 양상과 유효변형을 분포로부터 발생 가능한 결함을 예측하여 소재 투입량을 최소화 할 수 있는 성형공정을 설계하였으며, 이러한 결과들을 기초로 하여 제품에 요구되는 설계조건을 만족시키는 단조품의 형상도 설계하였다.

2. 소재 실험 및 공정 설계 순서

풀리에 사용되는 재료는 AISI 1008이며 소재에 대해 압축실험을 하여 다음과 같은 응력-변형을 관계식을 얻었다.

$$\bar{\sigma} = 677.38\bar{\epsilon}^{0.2186} \quad (N/mm^2)$$

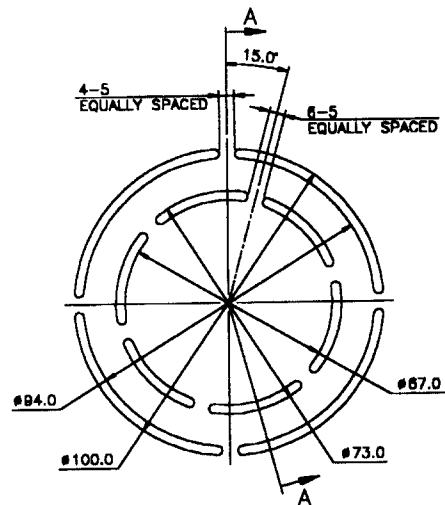
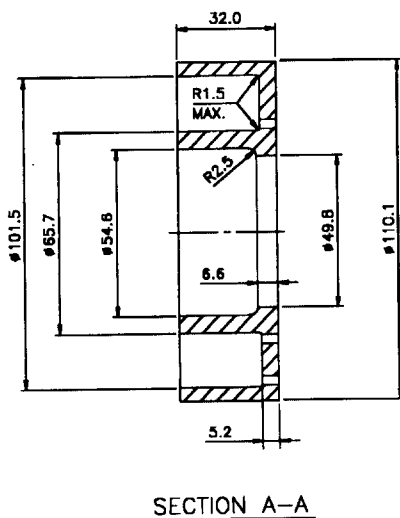


Fig. 2 Schematic of machined inner pulley(unit : mm)

소재와 금형 사이의 접촉면은 인산염 피막후 본드루베(Bond Lube) 윤활처리를 하였다. 윤활제의 마찰 상수를 측정하기 위하여, 시편의 크기가 외경:내경:높이가 6:3:2인 링 시편을 사용하여 링 압축 실험을 행하였다. 실험 결과와 마찰 상수 보정곡선을 비교하여 구한 마찰 상수값은 0.1이었다.

풀리의 최종 기계 가공품은 외경이 $\phi 110$ 이고 내경이 $\phi 50$ 인 중공형상이며, 높이가 32mm인 이중 리브형상이다(Fig.2). 최종제품의 중공형상은 초기소재를 피어싱하여 중공소재로 단조하여 후가공을 없게 하는 방법과, 초기소재에 구멍이 없는 중실소재로 단조하여 단조후 피어싱하는 공법이 있다. 이전 연구에서는 중공소재를 초기소재로 하여 설계조건을 만족하는 풀리의 단조품 형상을 제안하였다. 중공소재는 원형의 소재를 절단하여 피어싱으로 내부의 구멍을 형성시키게 되므로, 피어싱된 소재의 체적만큼 손실이 발생하는 단점이 있다. 중실소재를 초기소재로 사용하여 공정을 설계할 경우, 중실소재로 최종제품을 성형한 다음 피어싱을 수행하기 때문에 중공소재의 피어싱으로 인한 소재 손실보다 적은 소재 손실이 발생한다. 그러나 중실소재의 경우, 성형공정에서 금형과 소재의 접촉면이 중공소재보다 증가하기 때문에 전체 성형하중과 금

형에 작용하는 면압은 중공소재의 성형하중과 금형에 작용하는 면압보다 높을 것으로 생각된다.

본 연구에서 풀리의 최종 제품을 중실소재를 이용하여 냉간단조로 성형하기 위한 공정순서를 Fig.3에 나타내었다. 공정 순서는, 제품의 기계도면으로부터 성형 가능한 단조품 형상을 설계한다. 중실소재를 이용하여 설계된 단조품 형상대로 성형해석을 수행한다. 해석결과가 제품의 설계조건을 만족하지 못하면, 단조품의 형상을 변경하여 최종 단조품이 최종 제품에 요구되는 설계조건을 만족할 때까지 반복하여 단조품의 형상을 재 설계한다.

3. 중실소재를 사용한 풀리의 공정 설계

3.1 설계 조건 및 단조 도면의 작성

풀리의 기계 도면은 Fig.2와 같으며, 이전 연구⁽⁶⁾에서 제안한 한 공정으로 설계된 풀리의 단조품 형상은 Fig.4와 같다. 외경이 $\phi 115$, 내경이 $\phi 50$ 이고 높이가 16 mm인 중공소재를 초기소재로 하여 단길이 직경상 5 mm인 금형으로, 설계조건을 만족하는 자동차용 에어컨 풀리를 한 공정으로 성형하였다.

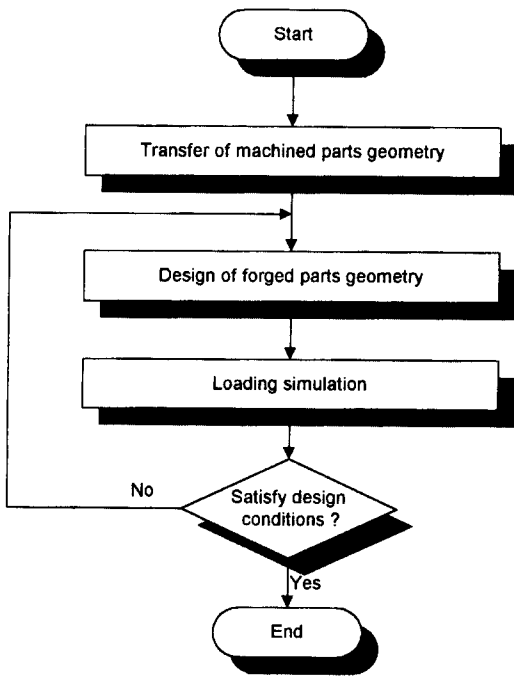


Fig. 3 The flow chart of processes planning for pulley

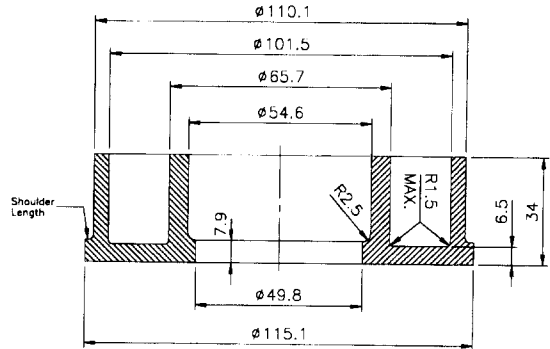


Fig. 4 Dimensions of forged pulley with hollow billet (unit : mm)

풀리에 요구되는 설계조건으로는 첫째로 이중 리브 길이가 기계가공량을 고려한 길이만큼 길면서 동일해야 한다. 둘째로 풀리는 고속으로 회전하기 때문에 최종 단조품 이중 리브부의 경도는 균일하게 분포되어야 한다. 경도분포가 불균일할 경우에는 베어링 체결부의 조기 마멸로 인하여 베어링이 내부 풀리 체결부에서 이탈하는 문제가 발생한다. 냉간단조품의 경도분포는 소재의 경도와 유효변

형률 사이에 일정한 관계가 있음을 알 수 있다.^{18, 19)} 따라서, 본 연구에서는 최종제품의 경도가 균일한지를 판별하기 위하여 유한요소해석결과인 유효변형을 분포와 실험을 통하여 해석결과가 설계조건을 만족하는지 살펴보았다.

설계조건을 만족하고 중실소재를 초기소재로 하여 개선된 단조품을 설계하였다. 이중 리브부는 전방압출 공정으로 성형하는 것으로 하였고, 내부 $\phi 50$ 경은 단조공정 후 피어싱공정으로 성형하는 것으로 하였다. 단조품의 외경은 기계도면의 최종제품 외경과 같게하여 기계가공량을 줄일 수 있도록 하였으며, 이중 리브의 높이는 34 mm로 기계가공량을 고려하여 기계도면의 길이보다 길게 하였다. 바닥부는 단조공정 및 피어싱공정후 발생하는 플래쉬 부분을 트리밍하고 기계가공후 정확한 바닥 치수를 맞출 수 있도록 여유를 두어 6.5 mm로 하였다. 그리고 중심부의 소재가 내부 압출부로 유동이 원활하게 이루어지도록 하기 위하여 5°의 경사각을 주었다. Fig.5에 중실소재를 사용했을 때 단조후 기계가공량을 최소화할 수 있는 풀리의 최종단조품 형상을 나타내었다.

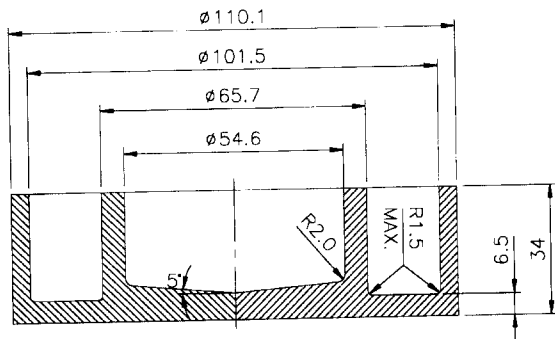


Fig. 5 Dimensions of forged pulley with solid billet (unit : mm)

3.2 초기소재 선정

중실소재를 초기소재로 하여 설계한 단조품 체적은 138,748 mm³으로 중공소재를 사용한 단조품 체적보다 약 2.6%정도가 증가하였다. 그러나 중실소재는 원소재로부터 절단된 소재를 초기소재로 사용하지만, 중공소재는 원 소재를 절단한 뒤 중심부를 피어싱하여 초기소재로 사용한다. 결국은 중실소재에 사용되는 원소재의 체적이 중공 소재에 사용되는 원소재의 체적보다 약 17%정도가 감소되어 원소재에 소요되는 소재 재료가 감소한다.

계산된 단조품체적을 토대로 선정된 초기 빌렛은 직경

이 $\phi 110$ 이고 높이가 14.6 mm인 중실소재이다. 선정된 초기소재를 이용하여 성형해석을 수행하였으며, 그 결과를 Fig.6에 나타내었다. 내·외부 압출부 길이의 차는 4.54 mm로 내부 압출부 길이가 외부 압출부 길이보다 짧았으며, 단조품 한계길이인 34 mm를 만족하지 못하였다. 중공소재를 초기소재로 사용한 해석결과와 동일한 결과를 보여주었으나, 내·외부 압출부의 길이차는 줄어들었다. 중실소재를 사용하였기 때문에 이전의 연구에서 중공소재를 사용한 경우보다 소재중심부의 체적이 내부 압출부로 유동하여 내부 압출부의 길이가 더 길었다.

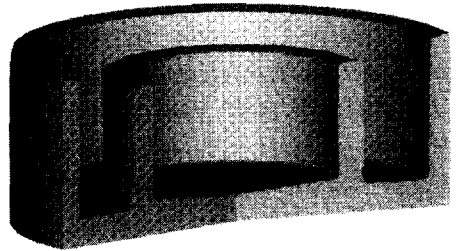


Fig.6 The deformed shape of forged pulley used solid billet

내·외부 압출부의 길이차는 중공소재를 초기소재로 사용했을 때와 같이 내·외부 압출부의 유동속도차에 의해서 발생하는 현상으로서, 외부 압출부가 내부 압출부보다 유동 속도가 빨라서 외부 압출부가 더 길게 성형되었다. 예비성형체를 사용할 경우에는 내부 압출부에 경도차가 발생하여 제품에 요구되는 강도 설계조건을 만족시키지 못한다.²⁰⁾ 따라서 한 공정으로 내·외부 압출부 길이를 동일하게 하고, 제품에 요구되는 강도 설계조건을 만족시키기 위하여 소재의 유동을 제어할 수 있는 단조품 형상을 재 설계하였다.

3.3 유동제어를 통한 개선 단조품 설계

중공소재를 사용하여 내·외부 압출부의 길이를 동일하게 할 수 있는 단조품을 기초로 하여 중실형상의 소재를 사용하기 위한 단조품을 설계하여 그 형상을 Fig.7에 나타내었다. 단조품 형상의 치수는 중공소재를 사용할 경우 (Fig.4)와 동일하게 하였으며, 중심부의 소재가 내부 압출부로 유동이 원활하게 이루어지도록 하기 위하여 5°의 경사각을 주었다. 소재의 유동제어를 위한 금형의 단길이

도 중공소재와 마찬가지로 직경상으로 5 mm를 주었다. 초기소재는 3.2절에서 사용한 외경이 $\phi 110$ 이고 높이가 14.6 mm인 중실소재를 이용하여, 변경된 단조품 형상으로 성형해석을 수행하였다. 해석결과, 내부 압출부 길이가 외부 압출부 길이보다 7.76 mm 길게 성형되었으며, 중공소재를 사용한 해석결과와 차이가 있음을 알 수 있었다(Fig.8). 중공소재를 사용한 경우에는 내·외부 압출부 길이가 0.783 mm로 거의 일정하게 성형되었으나, 중실소재를 사용하였을 경우에는 내부 압출부 길이가 길게 성형되었다. 이러한 결과는 중공소재를 사용했을 경우와 다른 결과로, 소재 중심부의 체적이 내부 압출부로 더 많이 이동하여서 내부 압출부의 길이가 더 길게 성형된 것으로 생각된다.

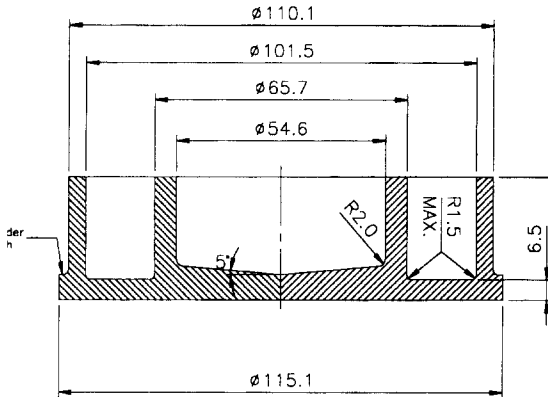


Fig. 7 Dimensions of forged pulley with outside flange ($\phi 115$) using for solid billet

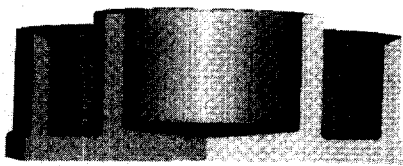


Fig. 8 The deformed shape of forged pulley with outside flange ($\phi 115$) used solid billet

내·외부 압출부의 길이를 동일하게 하기 위하여 외부 압출부의 단길이를 직경으로 1 mm 감소시켰다. 즉, 금형의

단길이를 직경상으로 4 mm로 하여 성형해석을 실시하였다. 해석결과 중공소재의 단조품 형상보다 내·외부 압출부의 길이차가 6.64 mm로 감소하였으나, 내부 압출부 길이가 길었다(Fig.9). 외부 압출부 소재의 유동제어량을 감소시켰을 경우 내부 압출부 길이가 짧아지고 외부 압출부 길이가 길어지는 현상을 발견 할 수 있었다.

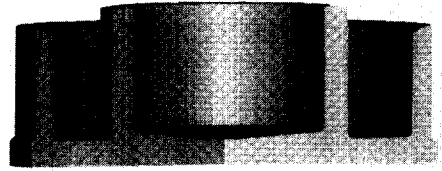


Fig. 9 The deformed shape off forged pulley with outside flange ($\phi 114$) used solid billet

이 결과를 토대로 외부 압출부의 소재의 유동제어량을 직경상 1 mm 더 감소시켜, 금형의 단길이가 직경상으로 3 mm로 하고, 단조품의 외경을 $\phi 113$ 으로 설계하여 성형해석을 실시하였다. 해석결과, 내부 압출부 길이가 외부 압출부 길이보다 2.17 mm 길게 성형되었으며, 유효 변형률 분포도 내·외부 압출부 길이 전체적으로 균일하여, 경도 분포도 균일할 것으로 예상되었다(Fig.10). 성형하중은 1,488톤으로 중공소재를 사용했을 때 보다 약 20%정도 증가한 것으로 나타났다. 중실소재 형상을 사용하였을 경우에는 소재의 유동제어를 위한 단길이가 감소함에 따라 내·외부 압출부 길이가 일정해 짐을 알 수 있기 때문에 소재의 유동제어를 위한 단을 1 mm 더 감소시켜 성형해석을 실시하였다.

소재의 유동제어를 위한 금형의 단 직경을 2mm로 하고, 단조품의 외경을 $\phi 112$ 로 하여 성형해석을 수행한 결과(Fig.11). 외부 압출부 길이가 내부 압출부보다 1.33 mm 길게 성형되었고, 성형하중은 1,479톤으로 앞의 해석결과와 비슷한 값을 나타내었다. 따라서, 중실소재를 사용할 경우에는 소재의 유동제어를 위한 단길이를 중공소재를 사용할 때보다 감소시킬 수 있으며, 내·외부 압출부 길이도 일정하게 성형시킬 수 있다는 성형 해석결과를 얻었다. 금형의 단길이에 대한 내·외부 압출부의 길이차를 Table 1에 나타내었으며 내·외부 압출부의 길이차에 영

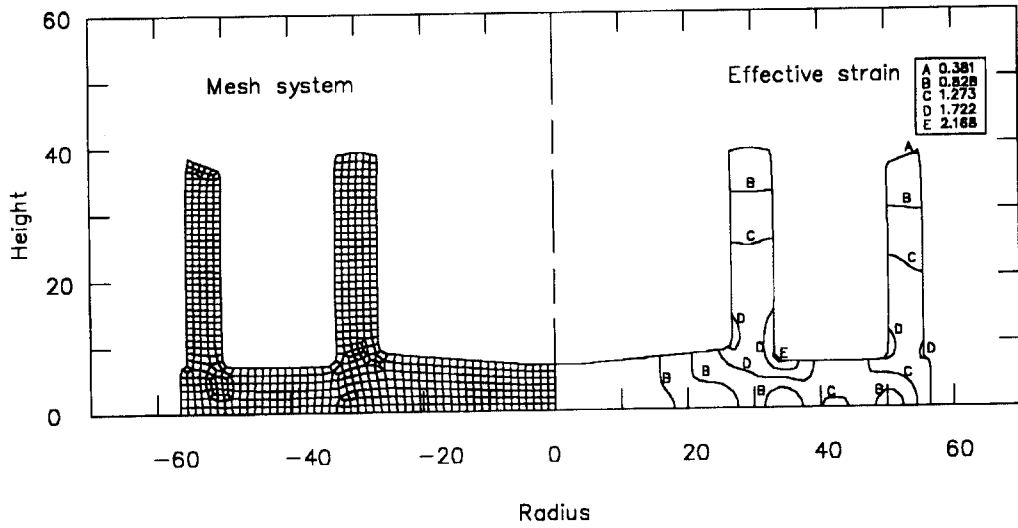


Fig. 10 The deformed shape and the distribution of effective strain for forged pulley with outside flange(ϕ 113) used solid billet

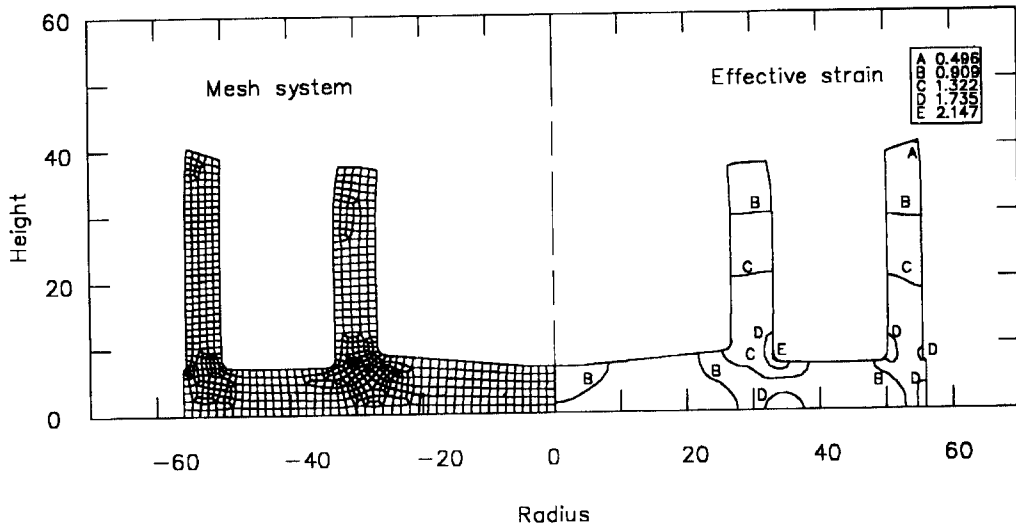


Fig. 11 The deformed shape and the distribution of effective strain for forged pulley with outside flange(ϕ 112) used solid billet

Table 1 The comparison of extruded length between inner extruded rib and outer extruded one with various die shoulder length

Shoulder length (mm)	Difference of height (mm)	Remarks
ϕ 5	7.76	Inner length > Outer length
ϕ 4	6.64	Inner length > Outer length
ϕ 3	2.17	Inner length > Outer length
ϕ 2	1.33	Inner length < Outer length

향을 미치는 것은 금형의 단길이임을 알 수 있었다.

4. 개선된 단조품의 공정 선정 및 단조 실험

유한요소 해석결과에서와 같이 설계조건을 만족시키는 단조품 형상은 소재의 유동제어를 위한 단 직경이 $\phi 112$ 와 $\phi 113$ 두 종류이다. 단 직경이 $\phi 112$ 인 것이 $\phi 113$ 인 것에 비해서 내·외부 압출부 길이의 차가 작았고, 성형하중도 $\phi 113$ 인 것에 비해서 낮았다. 유효 변형을 분포도 두 가지 경우 모두 다 균일한 결과를 나타내고 있다. 내·외부 압출부 길이차가 $\phi 113$ 일 때까지는 내부 압출부 길이가 길고, $\phi 112$ 일 때에는 외부 압출부 길이가 길어짐을 발견하였다. 실제 단조실험에서는 마찰 및 작업 여건이 악화됨을 감안하고, 유한요소 해석시 외부 압출부의 단길이에 의하여 발생하는 격자재구성예 의한 체적 감소를 고려하여 내부 압출부 길이가 긴 $\phi 113$ 을 선정하여 단조 시험을 실시하였다.

개선된 단조품의 단조시험 소재는 AISI 1008를 인산염

피막처리후 본드루베 처리하였고, 사용장비는 2,500톤 너클 조인트 프레스(knuckle joint press)를 사용하였다. 초기소재는 외경 $\phi 110$ 이고, 높이가 14.60 mm인 중실소재를 사용하여 단조실험을 실시한 결과를 Fig.12에 나타내었다. 경도의 균일성을 분석하기 위하여 경도를 측정하였으며 그 결과를 Fig.13에 나타내었다. 단조실험을 실시한 단조품의 내·외부 압출부 길이는 성형 해석결과와 거의 일치한 결과를 나타내었으며, 경도도 내·외부 압출부 길이에 걸쳐서 균일한 결과를 나타내어 설계조건을 만족하였다.

5. 결과 및 고찰

유한요소 해석과 실험을 통하여 중실소재로 최종제품을 성형할 수 있는 개선된 단조품을 설계하였다. 중실소재를 사용하여 제품에 필요한 설계조건을 만족하는 개선된 단조품을 설계하였고, 개선된 단조품을 단조 시험한 결과, 유한요소 해석결과와 잘 일치하였다. 외부 압출부에 단이 없는 금형을 사용했을 경우에는 중공소재와 동일한 해석 결과를 얻었으며, 이전 연구에서 제안한 소재의 유동제어를 위한 단조품 형상에서는 중공소재의 경우 직경상으로 단길이를 5 mm로 하였을 때 내·외부 압출부의 길이가 거의 일치하였고, 중실소재의 경우에는 직경상으로 단길이를 3 mm로 하였을 때 내·외부 압출부의 길이가 거의 일치하여 중공소재와 중실소재가 다른 결과를 보였다. 단조실험에서 내·외부 압출부의 길이차이는 0.5 mm로 유한요소 해석결과인 1.67 mm와 약간의 차이를 보였으나 거의 일치하였고, 경도 분포도 중공소재를 이용하여 성형한 제품과 거의 일치하였다. 중공소재를 사용할 때와 마찬가지로 중실소재를 사용할 경우에도 소재의 유동제어를 실시하여야 한다는 결과를 얻었다.

이전 연구⁶⁾와 본 연구에서 얻은 결과를 Table 2에 비교, 정리하였다. 중실소재를 초기소재로 사용할 경우에는 중공소재를 사용할 때보다 절단 소재체적을 약 17% 감소시킬 수 있었다. 성형하중은 중공소재보다 약 22% 증가한 1,488톤을 보이고 있으며, 이에 따른 금형면에 작용하는 압력도 중공소재에 비해 클 것으로 생각된다. 그러나 실제 현장에서 중공소재를 사용하여 풀리를 성형할 경우 원소재를 피어싱하여 중공소재를 만들 때 중심이 정확하게 맞지 않아 약간의 편심이 생기는 경우가 발생한다. 이렇게 편심된 소재로 풀리를 성형할 경우 Fig.14의 A부에서 크랙이 발생하여 금형이 파괴되는 현상이 발생하였다.

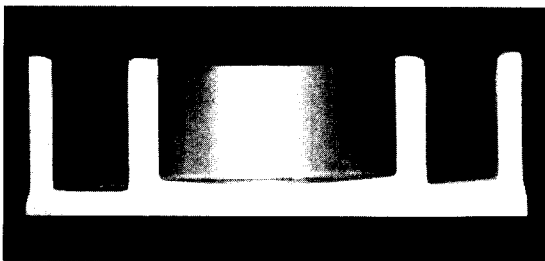


Fig. 12 Photograph for forged pulley with outside flange ($\phi 113$) used solid billet

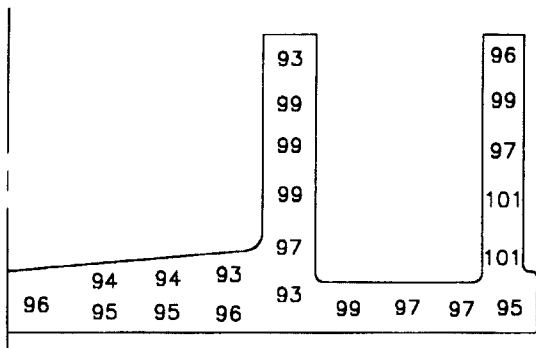


Fig. 13 The distribution of hardness(HRB) for forged pulley with outside flange ($\phi 113$) used solid type billet

Table 2 The comparison of previous work and present work

	공 정 비 교	
	이 전 연 구	본 연 구
원 소 재 치 수	외경 : 115.00 mm 높이 : 16.00 mm	외경 : 110.00 mm 높이 : 14.60 mm
원 소 재 체 적	166,190 mm ³	138,748 mm ³
초기소재 형상	중공소재	중실소재
초기소재 치수	외경 : 115.00 mm 내경 : 50.00 mm 높이 : 16.00 mm	외경 : 110.00 mm 내경 : 0 mm 높이 : 14.60 mm
초기소재 체적	134,774 mm ³	138,748 mm ³
단 조 품 형상	Fig. 4	Fig. 7
단 조 품 체적	134,774 mm ³	138,748 mm ³
직경상 적정 단길이	5 mm	3 mm
성 형 하 중	1,216 ton	1,488 ton
장 점	1. 성형하중이 중실소재에 비해 작다 2. 중실소재에 비해 금형에 작용하는 압력이 작다.	1. 소재비가 중공소재에 비해 17%정도 적게 소요된다. 2. 단길이 직경상으로 3mm이므로 기계 가공량이 중공소재에 비해 적다. 3. 금형비가 중공소재에 비해 30%정도 적게 소요된다.
단 점	1. 소재비가 중실소재에 비해 17%정도 많이 소요된다. 2. 단길이 직경상으로 5mm이므로 기계 가공량이 중실소재에 비해 많다. 3. 금형비가 중공소재에 비해 30%정도 많이 소요된다.	1. 성형하중이 중실소재에 비해 크다. 2. 중공소재에 비해 금형에 작용하는 압력이 크다.

이에 반하여 중실소재를 사용할 경우에는 이러한 현상이 발생하지 않는다. 따라서 두 공정의 금형수명을 비교해 보면 중공소재를 사용하는 금형이 중실소재를 사용하는 금형보다 금형에 작용하는 면압 작아서 금형수명이 더 좋을 것으로 생각된다. 그러나 실제 현장에서 발생할 수 있는 편심의 영향으로 인한 금형의 파괴를 고려하면, 중실소재를 사용하는 금형의 수명이 더 좋을 것으로 생각된다. 그리고 실제 두 공정의 금형비를 비교할 경우 중공소재로 풀리를 성형하는 금형보다는 중실소재로 풀리를 성형하는 것이 30%정도가 절감된다. 내·외부 압출부의 길이를 동일하게 하기 위한 외부 압출부의 단길이는 중공소재를 사용할 경우에 비하여 2mm가 감소된 $\phi 113$ 으로 제품을 가공할 수 있기 때문에 기계가공에 의한 추가적인 소재 손실을 막을 수 있고, 기계가공에 소요되는 비용과 시간을 절감할 수 있을 것으로 생각된다.

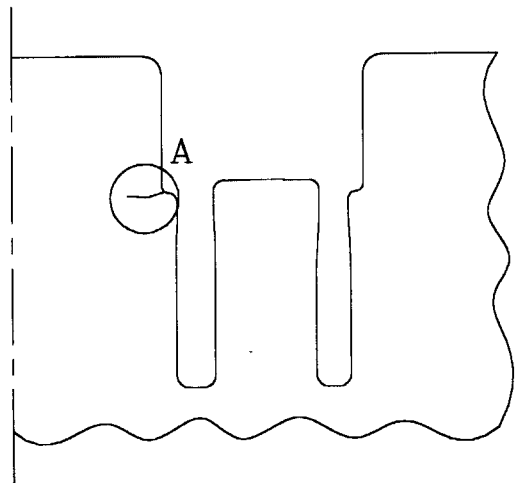


Fig. 14 Schematic diagram of crack in the forged die

6. 결 론

본 연구에서는 상용 유한요소해석 프로그램인 DEFORM을 이용하여 자동차 냉방기용 클러치로 사용되는 이중 원통형 내부풀리를 중실소재로 내·외부 압출부 길이가 일정하고 경도가 균일한 냉간단조 공정해석을 수행하였고, 그 결과를 정리해보면 다음과 같다.

(1) 중실소재를 이용하여 동일한 내·외부 압출부 길이와 균일한 경도분포를 얻을 수 있는 단조품의 형상을 설계하였다.

(2) 중공소재의 경우와 마찬가지로 중실소재를 사용할 경우에도 내·외부 압출부 길이를 일정하게 하기 위하여 소재의 유동제어를 하여야 한다는 것을 알았다.

(3) 소재의 유동제어를 위한 금형의 단길이는 중실소재의 경우 중공소재에 비해서 단길이가 작으므로 이에 따른 기계가공량이 줄어들었다.

(4) 중실소재를 사용하였을 경우에는 중공소재를 사용했을 경우보다 성형하중은 증가 하였지만, 대량생산에 따른 금형비를 줄일 수 있고 소재의 투입중량을 감소시킬 수 있어 기계가공에 의한 추가적인 소재손실 및 기계가공에 소요되는 비용과 시간을 절감시킬 수 있음을 알았다.

후 기

본 연구는 부산대학교 정밀정형 및 금형가공 연구센터를 통한 한국과학재단 우수연구센터 지원금에 의한 것입니다.

참고 문헌

(1) K. Sevenler, P. S. Raghupati and T. Altan, "Forming Sequence Design for Multistage Cold

- Forging", J. of Mech. Work. Tech., Vol. 14, pp. 121 ~ 135(1987).
- (2) K. Osakada, T. Kado and G. B. Yang, "Application of AI-Technique to Process Planning of Cold Forging". Annals of the CIRP, Vol. 37, No. 1, pp. 239 ~ 242(1988).
- (3) P. Bariani and W. Knight, "Computer-Aided Cold-Forging Process Design: A Knowledge Based System Approach to Forming Sequence Generation", Annals of the CIRP, Vol. 37, No. 1, pp. 243 ~ 246(1988).
- (4) 이진희, 강범수, 김병민, 이정환, "등속조인트 하우징의 냉간단조 공정설계", 대한기계학회 논문집, 제18권, 제9호, pp. 243 ~ 246, 1988.
- (5) J. J. Park, N. Rebelo and S. Kobayashi, "A New Approach to Perform Design in Metal Forming with the Finite Method", Int. J. Mach. Tool De. Res., Vol. 23, No. 1, pp. 71 ~ 79(1983).
- (6) 김동진, 정덕진, 김병민, 최재찬, "자동차 냉방기용 내부 풀리의 냉간단조 공정 설계", 한국소성가공학회 '95춘계학술대회 논문집, pp. 62 ~ 70.
- (7) "DEFORM User's Manual V4.1", Scientific Forming Technologies Corporation (1995)
- (8) M. Kobayashi, M. Li and H. Sakuta, "Prediction of mechanical properties and microstructures in forged 1050 aluminum by numerical simulation", Light Metals(in Japanese), Vol. 40-11, pp. 805 ~ 810(1990).
- (9) 이상매, 김현기, R. Shivpuri and T. Altan, "유한요소 시뮬레이션에 의한 냉간단조품의 경도 예측", 한국소성가공학회 추계학술대회 논문집, pp. 56 ~ 62(1993).