

<논 문> SAE NO. 97370084

자동차 냉방기용 내부 풀리의 냉간 단조 공정 설계

Process Design of Pulley for Automobile Airconditoner in Cold Forging

김 동 진*, 정 덕 진*, 김 병 민**, 최 재 찬**
D. J. Kim, D. J. Jeong, B. M. Kim, J. C. Choi

ABSTRACT

The inner pulley is an automobile component used as air conditioner clutch assembly. In cold forging of inner pulley, the design requirements are to keep the same height of the inner rib and outer one, and to make uniform the hardness distribution in the forged product. In industry, the design of forging processes is performed based on experience-oriented technology, that is, designers experience and expensive trial and error. Using the rigid-plastic finite element simulations, we design the optimal process conditions, which has a preforming operation. Also the final product configuration of forging has to be designed again in view of 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.

주요기술용어 : Inner Pulley, Die Geometry, Shoulder Length, Process Planning

1. 서 론

냉간단조로 생산되는 제품은 일반적으로 한 공정으로 생산되는 것이 아니라, 초기의 간단한 소재 형상을 좀 더 복잡하고 결함이 없는 제품으로 만들기 위해서 몇 번의 예비 성형공정을 거치는 다단계 성형공정으로 이루어진다.

따라서 냉간단조 공정설계의 가장 중요한 사항은 예비성형의 공정수 및 각 공정의 예비성형체 형상이다.

새로운 제품의 생산을 위한 성형공정의 개발에 소요되는 시간과 비용을 줄이기 위하여, 실제의 금형, 소재의 유동, 금형 내의 충전정도와 성형 하중 등의 상세한 정보를 제공할 수 있는 기법들이 필요하다. 최근에는 컴퓨터와 수치기법의 발전으로 컴퓨터를 이용한 여러 가지 방법들이 성형 공정설계 및 금형설계에 활발히

* 부산대학원

** 정회원, 부산대학교 정밀성형 및 금형가공연구센터

이용되고 있다. 특히 유한요소해석은 이와 같은 정보들을 상세히 제공할 수 있어 생산과정의 시행착오를 줄일 수 있다.¹⁻⁵⁾

자동차 냉방기는 냉매를 가압하는 압축기(Compressor)부와 차량 엔진으로부터 동력을 공급받아 단속역할을 해 주는 자장형 클러치부(Magnetic clutch assembly)로 구성되어 있다. 클러치부는 내부 풀리에 그루부(Groove)형상을 가진 시브(Sheave)와 베어링으로 구성 되어있다(Fig.1).

본 연구에서는 원가 절감 및 생산성 증대 방안으로 내부 풀리의 냉간단조 성형공정을 개발하는 것이다. 먼저 기계도면으로부터 최종 단조품의 형상을 설계한 다음, 한 공정으로 최종형상의 성형 가능성을 검토하였고, 한 공정으로 제품의 생산이 불가능할 경우에는 예비성형을 설계하여 최종제품에 대한 성형성을 검토하였다. 또한 제품에 요구되는 설계조건을 더욱 우수하게 만족시키기 위하여 최종 단조품의 금형 형상변경도 고려하였다.

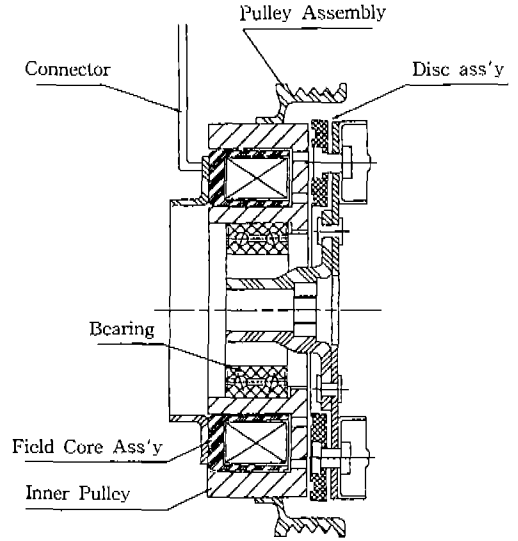


Fig.1 Schematic Diagram of Clutch Assembly for Automobile Air Conditioner

2. 소재 실험 및 공정 설계 순서

내부 풀리 생산에 이용되는 소재는 AISI 1008 이다. 소재에 대해 압축실험을하여 다음과같은 응력-변형률 관계식을 얻었다.

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

소재와 금형 사이의 접촉면은 인산염 피막처리후 본드 루베(Bond Lube) 윤활처리를 하였다. 링 압축 실험을 통하여 마찰 상수값을 측정한 결과, 마찰 상수는 0.1이었다.⁶⁾

본 연구에서 내부 풀리의 최종제품을 냉간단조로 성형하기 위한 공정순서를 Fig.2에 나타내었다. 먼저, 실제 자동차용 에어컨 클러치로 사용되는 내부 풀리의 기계도면으로부터 최소한의 기계가공을 요구하는 단조도면을 작성하였다. 단조도면 형상으로 성형하기 위하여 다양한 초기소재의 치수를 선정하고, 여기서 선정된 초기소재를 이용하여 단조도면 형상으로 성형해석을 한다. 초기소재 치수의 변화만으로

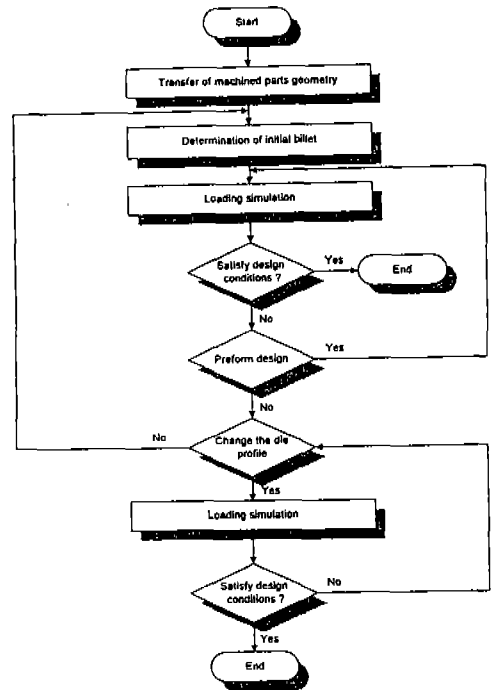


Fig.2 The Flow Chart of Processes Planning for Inner Pulley

제품 성형이 안될 경우에는 예비성형체를 설계하거나 최종제품의 형상을 수정함으로써 제품의 설계조건을 만족하는 공정을 설계하였다.

3. 이중 원통형 내부 풀리의 공정설계

3.1 설계 조건 및 단조 도면의 작성

내부 풀리의 기계도면은 Fig.3과 같다. 내부 풀리의 설계 조건은 내·외부 압출부 길이가 기계가공량을 고려한 길이만큼 길면서 동일해야 한다. 그리고 내부 풀리는 고속으로 회전하기 때문에 최종 단조품 내·외부 압출부의 경도는 균일하게 분포되어야 한다. 경도 분포가 불균일할 경우에는 베어링 체결부의 조기 마멸로 인하여 베어링이 내부 풀리 체결부에서 이탈하게 된다. 냉간단조품의 경도 분포는 소재의 경도와 유효변형률 사이에 일정한 관계가 있음을 알 수 있다.⁷⁻⁸⁾ 따라서 본 연구에서는 최종제품의 경도가 균일한지를 판별하기 위하여 유한요소해석 결과인 유효변형률 분포와 실험을 통하여 해석결과가 설계조건을 만족하는지 살펴 보았다.

이상과 같이 제품에 요구되는 설계조건이 까다롭고 최종 피어싱 공정으로 인하여 냉간단조로써 기계도면의 형상대로 단조하는 것이 불가능하므로 최소한의 기계가공량을 고려한 단조도면이 필요하다. 단조품의 외경은 기계도면의

제품 외경과 같게하여 기계가공을 줄일 수 있도록 하였으며 압출부의 길이는 34mm로 기계가공량을 고려하여 기계도면의 길이보다 길게 하였다. 외부 바닥부는 압출부 발생하는 플래쉬 부분을 트리밍하고 기계가공 후 정확한 바닥 치수를 맞출 수 있도록 여유를 두어 6.5mm로 하였다. Fig.4에 단조후 기계가공량을 최소화시킬 수 있는 최종 단조도면을 작성하였다.

3.2 초기 빌렛 선정

일반적으로 냉간단조에서의 초기 빌렛 크기는 최종제품의 직경 중의 하나로 선택한다. 따라서 본 연구에서는 첫 번째로 최종 단조도면의 직경에 의해서 외경이 110mm이고 내경이 49.8mm인 중공 소재를 선정하였고, 최종제품의 체적이 125,810mm³ 이기 때문에 높이 16.6mm로 하였다.

선정된 초기소재로 최종 단조도면 형상대로 성형하였다. Fig.5에서와 같이 내·외부 압출부 길이의 차는 7.029mm였고, 내부 압출길이는 기계가공량을 고려한 한계길이 34mm보다 작았다. 내부 부분에 단이 있어, 이것이 유동을 억제시켜 외부에 비해 압출 방향의 유동 속도가 느려 내부 압출길이가 외부 압출길이보다 더 적게 성형되었다.

이 초기소재로는 제품 성형이 불가능하므로 내·외부 압출부의 유동을 제어할 수 있는 다른 초기소재를 선정하여 제품을 다시 성형하였다. 내부 압출길이를 더 길게 성형하기 위해서는 외부 압출길이의 유동을 억제시킬 필요가 있었

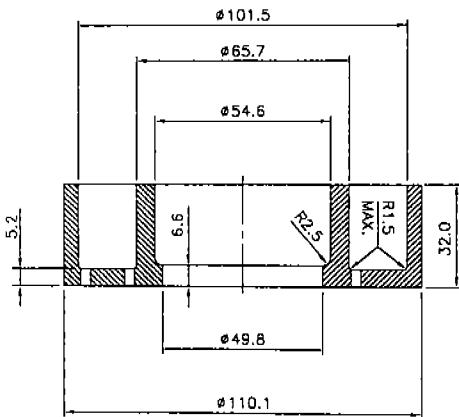


Fig.3 Dimensions of Machined Inner Pulley

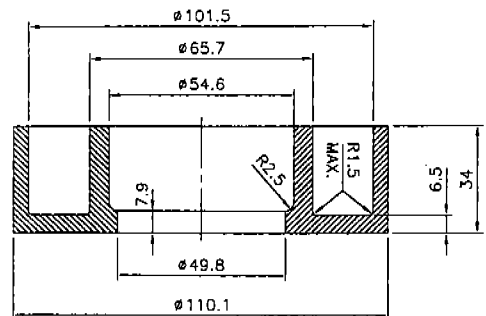


Fig.4 Dimensions of Forged Inner Pulley without Outside Flange

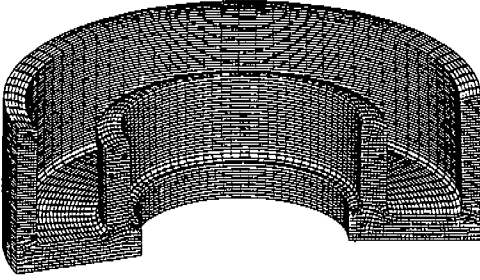


Fig.5 The Deformed Shape of Inner Pulley
(ϕ 110)

다. 그래서 외부 길이의 압축방향의 유동을 느끼게 하기 위하여 두 번째로 첫 번째 소재와 체적이 동일하면서 외부 직경은 첫 번째보다 작고 높이는 큰, 외경 100mm, 내경 49.8mm이고 높이가 21.22mm인 중공 소재를 초기소재로 선정하여 제품을 다시 성형하였다. 유동은 먼저 업세팅이 되면서 압출이 이루어지기 때문에 외부 압출길이부의 압출방향 유동이 첫 번째 것에 비해 느릴 것으로 생각되었다. 성형 중 소재 유동은 내부가 먼저 압출되었으나, 성형 결과 외부 압출부 길이가 더 길게 성형되었다. 내부 압출길이는 첫 번째 제품보다 길었지만 한계길이 보다 작았고 내·외부 압출부 길이차도 6.651mm이었다. 첫 번째 소재로 성형한 것 보다는 높이차가 줄어들었으나 설계조건은 만족하지 못하였다. 그러나 소재의 직경을 줄이고 소재높이를 높임으로써 내·외부 압출부의 길이차를 줄일 수 있음을 알 수 있어, 초기 소재의 형상으로 재료의 유동을 제어할 수 있을 것으로 생각되었다. 그래서 직경을 더 줄이고 소재의 높이가 높은 소재를 다시 선정하여 다시 성형하기로 하였다.

세 번째로 소재 체적은 동일하면서 외경이 90mm이고 내경이 49.8mm, 높이가 28.35mm인 중공소재를 초기소재로 선정하여 성형하였다. 이 소재는 제품이 성형되기 전에 유동 결함이 생겼다(Fig.6).

위의 세 가지 초기소재 형상의 해석 결과로, 초기 소재형상을 변경하는 것만으로는 최종제품의 내·외부 압출길이를 동일하게 할 수 없음

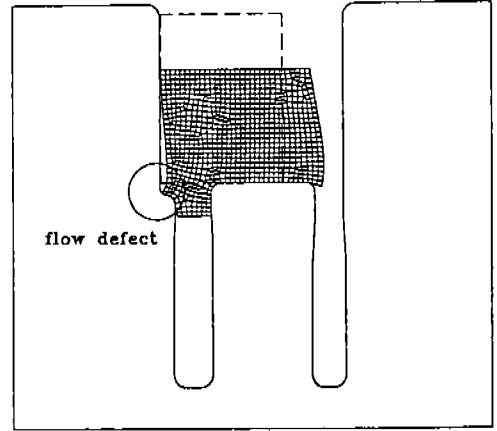


Fig.6 The Deformed Shape and Flow Defect of Inner Pulley(ϕ 110)

을 알았다. 그래서 이 최종 제품은 한 공정만으로는 성형이 불가능하고 예비성형 공정이나 소재 유동을 제어하기 위하여 최종 단조품의 형상을 변경하는 것이 불가피함을 알 수 있었다.

3.3 예비성형체 선정

예비성형체 성형을 위한 초기소재는 외경이 110mm이고 높이가 15.78mm인 중실소재를 사용하여 예비성형체를 성형하였다. 내부 폴리의 예비성형체는 앞의 해석 결과로부터, 폴리 내부 압출길이가 외부 압출길이에 비해 7mm 정도 짧으므로 내부를 7mm 먼저 압출하는 형상으로 정하였다(Fig.7). 성형된 예비성형체의 중심부를 피어싱한 후 물림(Normalizing) 처리하여 최종제품을 성형하였다. 내·외부 압출길이 한계 길이인 34mm보다 길게 나왔고, 내·외부 압출부의 높이 차가 0.7mm로 최종 단조 도면과 유사하게 제품의 형상이 나왔다.

그러나 예비성형체의 유효변형률 분포를 보면 내부 압출부 끝단은 거의 변형을 받지 않음을 알 수 있었다(Fig.8). 예비성형 공정에서 성형된 제품은 7mm 내부 압출부를 포함하여 열처리로 인해 변형이력이 불림 처리되었다. 불림 처리된 예비성형체를 최종 제품 형상으로 내·외부 압출부를 성형하였다. 예비성형된 7mm

내부압출부는 최종 공정에서 더 이상의 변형을 받지 않고 나머지 길이에 해당하는 내부 압출부가 변형을 받아 성형된다. 즉 내부 압출부의 끝단 7mm 부분과 나머지 내부 압출부사이에서 가공경화 정도의 차이가 발생하여 내부 압출부의 유효변형을 분포가 다르게 분포하였다. 이에 반해 외부 압출부는 최종 공정에서만 성형되기 때문에 거의 균일한 가공경화를 받아 유효변형을 분포가 비슷하였다. 예비성형체를 이용한 이 공정은 제품의 형상으로는 설계조건을 만족하였으나 균일한 경도 분포 조건은 만족하지 못할 것으로 생각된다.

따라서 제품의 형상 및 강도설계 조건을 만족시킬 수 있는 공정이 필요하다. 기계도면을 다시 검토한 결과 제품의 형상 설계조건 및 강도 설계조건을 만족시키기 위해서는 한 공정으로 제품을 생산하는 것이 좋을 것으로 생각되어 단조품의 형상을 다시 작성하였다. 내·외부 압출부의 유동을 동일하게 제어할 수 있는 금형의 형상을 결정하였고 경도 분포를 균일하게 하기 위하여 내·외부가 동시에 같은 정도의 가공경화를

받을 수 있도록 단조품의 형상을 재 설계하였다.

3.4 소재 유동 제어를 위한 금형 설계

단조품의 최종 형상은 먼저 내·외부 압출부의 유동을 동일하게 제어할 수 있는 형상으로 변경하는 것이다. Fig.5의 해석결과로부터 외부 압출부의 유동 속도는 내부 압출부 유동 속도보다 빠르다는 것을 알 수 있다. 그래서 외부 압출부의 유동을 억제시키기 위하여 금형 외경부에 단을 주어 소재의 유동속도를 제어하기로 하였다. Fig.5의 해석결과에서 외부 길이가 내부 길이보다 7mm 정도 더 길다. 그래서 이 길이에 해당하는 소재 체적만큼을 빼내기 위해 하부 금형의 외부에 내경부분과 동일한 5mm의 단을 주었다. 그리고 단조품의 형상에 따라 외경이 115mm, 내경이 49.8mm인 중공소재를 선정하였고, 한계

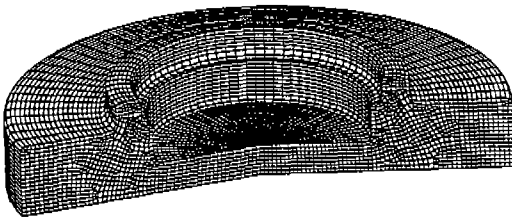


Fig.7 The Deformed Shape of Preform for Inner Pulley

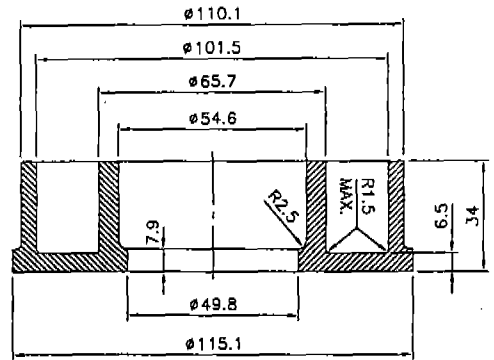


Fig.9 Dimensions of Forged Inner Pulley with Outside Flange

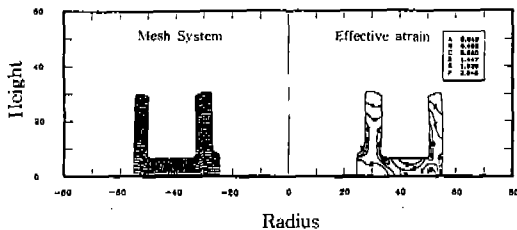


Fig.8 The Deformed Shape and the Distribution of Effective Strain for Dual Process with Normalizing

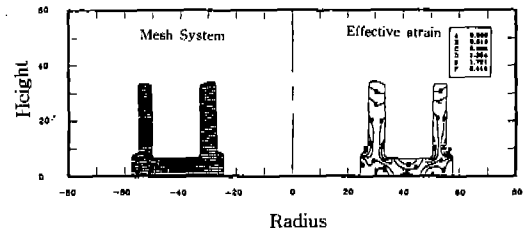


Fig.10 The Deformed Shape and the Distribution of Effective Strain for Modified Single Process

길이 34mm와 외경 단부분의 체적양을 계산해서 초기 소재의 높이를 16mm로하여 최종단조품의 체적이 134,800mm³이 되게 하였다(Fig.9).

선정된 초기소재로 제품을 성형해 보았다. 성형 결과 내·외부 압출부의 높이는 한계길이보다 길었고, 두 압출부 높이차는 0.783mm로 형상설계조건을 만족하는 결과를 얻을 수 있었다(Fig.10). 외부에 단을 주는 것이 외부 압출부의 소재유동을 크게 지연시켜 내부 압출부와외의 높이차를 줄일 수 있음을 알 수 있었다. 다음으로 유효변형을 분포를 보면 내·외부 압출부가 거의 균일하게 가공경화를 받아서 경도 분포도 균일할 것으로 생각된다. 따라서 소재 유동을 제어하기 위하여 최종 단조품의 형상을 변경한 위의 공정이 제품에 요구되는 형상설계조건과 강도조건을 모두 만족하는 공정임을 알 수 있다.

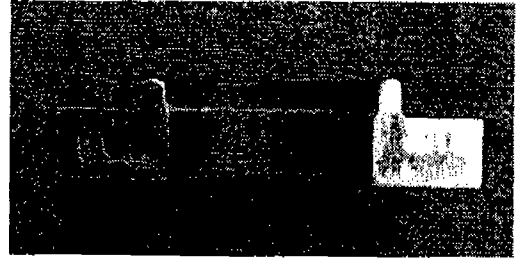


Fig.11 Photograph for Preform After Cold Preforming Process

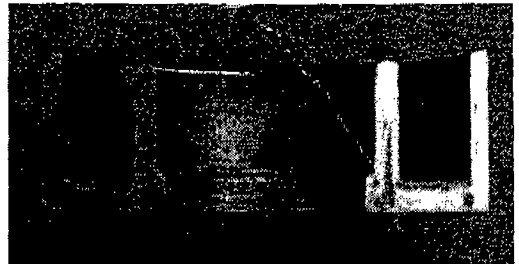


Fig.12 Photograph for Cold Forged Inner Pulley Used as Normalized Preform

4. 실험 및 최종 제품의 설계 조건에 적합한 공정 선정

위의 해석결과들로부터 자동차 냉방기용 내부 플리의 성형 가능 공정은 다음의 2가지 경우이다.

첫 번째로 앞의 해석 결과로부터 Fig.11과 같이 예비성형체를 성형하였다. 예비성형체를 열처리하여 최종 단조품을 성형한 결과 Fig.12과 같이 내·외부 압출부의 길이는 1~2mm의 높이 차이가 나타났다. 예비성형공정은 제품의 형상설계조건을 만족하였다. 다음으로 최종 제품의 경도를 측정하였다. Fig.13과 같이 외부 압출부의 경도 분포는 HrB 92~98로 균일하였으나 내부 압출길이부의 경도 분포가 HrB 65~94로 불균일하였다. 외부 압출부는 최종 공정에서만 성형되기 때문에 가공경화를 받아 경도가 균일하게 분포하였다. 그러나 예비성형된 내부 압출부와 최종 공정에서 성형된 나머지 내부 압출부사이의 열처리로 인한 가공경화 단속이 발생하여서, 특히 내부 압출부의 끝단에서의 경도가 다른 곳에 비해 매우 작았다. 이 공정은 제품의 형상으로는 설계조건을 만족하였으나 균일한 경도 분포조건은 만족하지 못하여 부적절한 공정

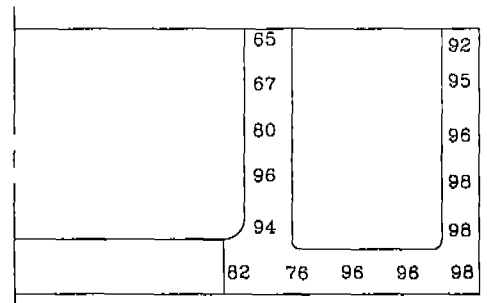


Fig.13 The Distribution of Hardness for Dual Process

임을 알 수 있었다. 그리고 예비성형 공정의 추가로 인하여 금형 제작비와 열처리 공정에 따른 소재 표면의 산화막 제거, 최종 제품 생산을 위한 윤활처리 등의 추가 공정으로 제품의 단가 상승요인이 발생하는 문제점이 생길 수 있다.

두 번째 공정은 기계도면의 외경에 내경과 동일한 5mm의 단을 주어 단조품의 형상을 결정한 경우이다. 제품을 성형한 결과 내·외부 압출부의 높이 차는 0.7~1.5mm로 제품의 형상설계

조건을 만족하였다(Fig.14). 다음으로 최종 단조품의 경도를 측정해 본 결과 Fig.15과 같이 외부 압출부의 경도 분포는 Hrb 93~96로 균일하였으며, 내부 압출부의 경도 분포도 Hrb 97~102로 균일함을 알 수 있었다. 이 공정은 내·외부 압출부의 길이 차이를 상당히 줄일 수 있어 제품이 요구하는 형상설계조건을 만족할 수 있었다. 경도 분포도 전체적으로 균일한 변형을 받아서 최종 제품의 경도 분포가 균일하였다. 이 공정은 기계가공량이 예비성형공정보다 상대적으로 많기 때문에 소재 손실이 많이 발생하지만, 한 공정으로 제품을 생산할 수 있기 때문에 전체적인 제품의 단가는 낮을 것으로 생각된다. 그리고 예비성형공정을 거쳐서 제품을 만드는 것보다 한 공정으로 제품을 성형하는 것이 제품에 요구되는 까다로운 설계조건을 만족시킬 수 있음을 알 수 있었다. 그래서 위의 두 공정중에서 최종 제품의 형상을 변경한 공정이 제품이 요구하는 설계 조건을 모두 만족하기 때문에 적절한 공정임을 알 수 있었다.

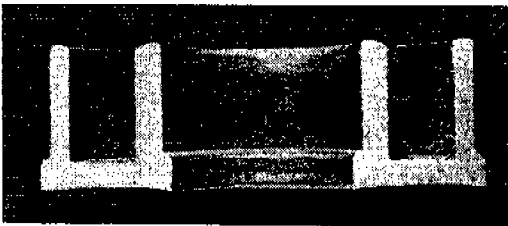


Fig.14 Photograph for Modified Cold Forged Inner Pulley after Cold Forging Process

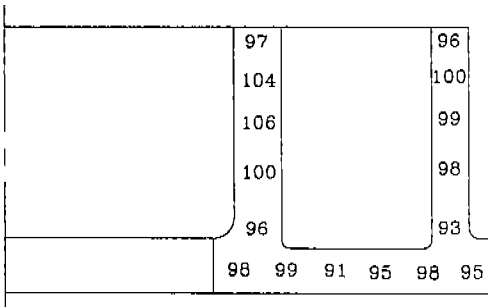


Fig.15 The Distribution of Hardness for Modified Single Process

5. 결 론

유한요소법을 이용하여 자동차용 냉방기 클러치로 사용되는 내부 풀리를 냉간단조로 성형하기 위한 공정을 설계하였다. 내·외부 압출부의 길이가 동일한 형상과 내·외부 압출부의 균일한 경도 분포등 제품이 요구하는 설계조건을 만족하는 공정을 유한요소법으로 설계하고 이를 실험을 통하여 검증하였다. 일반적으로 한 공정으로 제품 생산이 불가능한 것은 예비성형공정을 거쳐서 제품을 만들지만, 예비성형공정을 거침으로써 생길 수 있는 단가 상승 요인, 설계조건 불만족 등의 문제점이 발생할 수 있다는 것을 알았다. 이런 경우에는 최종 제품의 형상을 변경시킴으로써 공정수를 줄일 수 있고, 제품에 요구되는 설계조건을 만족시킴을 알 수 있었다.

외부에 단을 줌으로서, 제품의 설계조건을 만족시키는 내부 풀리의 공정 설계 결과를 얻었지만, 기계가공량의 증가로 소재의 손실이 발생한다. 따라서 추후에 제품의 설계조건을 만족시키면서 기계가공량을 보다 더 최소화할 수 있는 공정의 개선이 필요할 것이다.

후 기

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

참 고 문 헌

1. 이진희, 강범수, 김병민, 이정환, "등속 조인트 하우징의 냉간단조 공정설계", 대한기계학회 논문집, 제18권, 제9호, pp. 2234~2244, 1994.
2. J. J. Park, N. Rebelo, and S. Kobayashi, "A New Approach to Preform Design in Metal Forming with the Finite Element Method", Int. J. Mach. Tool Des. Res., Vol. 23, No. 1, pp. 71~79, 1983.
3. B. S. Kang and S. Kobayashi, "Preform

- Design in Ring Rolling Processes by the Three-Dimensional finite Element Method", *Int. J. Mach. Tools. Manu.* Vol. 31, No. 1, pp. 139~151, 1991.
4. 김동진, 고대철, 김병민, 강범수, 최재찬, "신경망과 유한요소법을 이용한 단조품의 초기 소재 결정", *한국소성가공학회 추계학술대회 논문집*, pp. 133~140, 1994.
 5. 정낙면, 이낙규, 양동열, "축대칭 냉간단조의 유한요소해석에서 퍼지 로직을 이용한 전방 투사법", *대한기계학회논문집*, Vol. 16, No. 8, pp. 1468~1483. 1992.
 6. 정덕진, "자동차 냉방기용 내부 플리의 냉간 단조 공정 설계", *분산대학교 석사학위 논문*, 1995.
 7. 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.
 8. 이상매, 김현기, R. Shivpuri, T. Altan, "유한요소 시뮬레이션에 의한 냉간단조품의 경도 예측", *한국소성가공학회 추계학술대회 논문집*, pp. 56~62, 1993.