

신경망을 이용한 축대칭 냉간 단조품의 초기 소재 결정에 관한 연구

(A Study on the Determination of Initial Billet for Axisymmetric Cold Forging Products Using Neural Networks)

김영호*, 배원병*, 서윤수**, 박종옥**

* 부산대학교, 정밀정형 및 금형가공연구소

** 부산대학교 대학원

Abstract

This paper describes the determination of optimal initial billet size for axisymmetric cold forging products using neural networks. The determination of optimal initial billet size is very important in forging design and forming sequence design, because the result of such designs and forming load can be different by variable initial billet sizes. The forming difficulty has been defined as the degree of difficulty in forming by 3 processes : forward extrusion, backward extrusion, and upsetting. By neural networks a forming difficulty can be determined with the ratio of shape and forming process. From the graph of maximum, minimum, and average forming difficulties by variable billet sizes, the optimal billet size can be determined. The initial billets of a solid part and a hollow part which was determined by this study are compared with the sequence drawing generated by the one of forming sequence design system.

1. 서 론

냉간단조 공정은 비교적 가벼운 축대칭형 제품의 생산에 적합한 공정으로서 좋은 가공 표면과 높은 치수 정도를 갖는 제품을 대량으로 생산할 수 있는 잇점을 가지고 있다. 그러나 공정설계와 금형제작 등에 소요되는 비용 및 시간이 다른 공정에 비해 크다는 단점을 가지고 있다.⁽¹⁾ 냉간 단조품의 공정설계에 있어서 초기 소재의 직경에 따라 공정설계 결과가 달라지므로 최적의 초기 소재를 결정하는 것은 합리적인 공정설계를 위해서 중요한 항목이다.⁽²⁾

냉간 단조품의 초기 소재 결정에 관해서는 T.Altan 등⁽³⁾이 "FORMEX"라는 냉간단조 공정설계 전문가시스템에서 초기 소재 직경을 결정하는 알고리즘을 제안하였다. 초기 소재 직경이 단조품의 최대 직경과 최소 직경 사이에 있다고 보고, 이들 중 가장 작은 변형으로 단조품을 성형할 수 있는 소재를 초기 소재라 보았다. H.S.Kim⁽⁴⁾⁽⁵⁾은 생성된 공정설계 결과를 공정수 감소와 성형하중의 균일화라는 관점에서 보다 합리적으로 재설계할 수 있는 공정설계용 전문가시스템에서 초기 소재 직경을 결정하는 지식베이스를 구축한 바 있고, J.C.Chi⁽⁶⁾ 등이 개발한 냉간단조 공정설계 및 금형설계의 자동화 시스템인 "COFCAD"에서 초기 소재 직경 결정에 관한 규칙베이스를 구축하였다. 또한 이들 시스템은 사용자가 원하는 초기 소재 직경을 직접 입력도록 하는 방법도 사용하고 있다.

본 연구의 목적은 최근 인공지능 분야에서 각광받고 있는

신경망(Neural Networks)을 이용하여 설계자가 초기 소재의 치수들을 결정하기 애매한 여러가지 형상의 냉간 단조품에서 최적의 초기 소재의 형상을 결정하는 것이다. 또한 초기 소재의 치수가 변화함에 따라, 그러한 초기 소재를 사용하였을 경우 각 성형단계에서 어떠한 어려움이 발생하는지를 예측해 보고, 초기 소재 직경의 변화에 따른 냉간 단조품의 공정설계 결과가 어떻게 달라지는지를 비교해 보고자 한다.

이를 위해서 본 연구에서는 PC의 AutoCAD 상에서 구동 가능한 AutoLISP 언어를 사용하여 냉간 단조품의 초기 소재를 자동적으로 결정해 주는 간단한 시스템을 구축하였다. 소재는 일반적인 성형성을 가지는 AISI 1018, 1020, 1035, 5120, 5140 계열을 택하였다. AutoLISP의 특징은 원소, 리스트 및 함수를 이용하는 함수형 언어로서 복잡한 형상을 다루는 언어로서는 매우 적당하다. 언어의 조작이 쉽고 간편하며 AutoCAD 상에서 작동하므로 시스템에 의하여 생성된 도면을 확보, 수정하기에도 용이하다. 또한 형상에 관한 데이터가 그대로 보존되어 있어 상호 호환성을 유지할 수 있다.⁽⁶⁾

신경망을 이용함으로써 시스템은 전문적이면서 정성적인 애매한 지식들을 확률적으로 표현된 정량적인 지식으로 변환할 수 있다. 제품형상에 존재할 수 있는 여러가지 형상들을 후방압출, 전방압출, 업세팅의 3가지 냉간단조 공정들로 성형할 때 성형이 어려운 정도를 성형난이도(forming difficulty)라 정의하고 이들의 값을 최대 0.9에서 최소 0.1사이에 둔다. 후방압출,

전방압출, 업세팅의 3가지 냉간단조 성형공정들에 대해 성형난이도를 평가한 신경망의 학습데이터를 작성하였다. 신경망에 이러한 데이터들이 학습되고 나면 신경망은 제품 형상에 있을 수 있는 임의의 형상에 대한 성형난이도를 출력할 수 있게 된다.

시스템은 주어진 단조품 형상을 성형하기 위해 먼저 단조품 형상에 존재하는 직경들을 각각 초기 소재라 가정했을 경우의 순차적인 공정들을 결정하고, 그 때의 성형난이도를 신경망에 조회하여 결정한다. 각각의 직경들을 초기 소재 직경이라 가정했을 경우 성형난이도들의 평균값이 가장 낮은 직경을 최적의 초기 소재로 결정한다. 몇 가지 단조품 형상에 대하여 본 연구에서 구축된 시스템이 결정한 초기 소재의 치수를 기준의 인구결과와 비교하여 타당성을 검증하고자 한다.

2. 신경망의 개요

2.1 신경망의 학습

신경망은 강도치(Weight Value)로 연결된 비선형이고 독특한 아날로그(Analog) 계산 요소들로 구성된 고도의 복잡한 시스템이다. 신경망은 뉴런(Neuron)과 뉴런간의 연결 강도를 조절하여 정보를 저장하는 분산 저장의 형태로 이루어져 있다. 분산 저장은 인간의 기억 방식과 유사한 것으로 데이터의 부분적 손실이나 변형에 관계없이 데이터를 저장하고 찾을 수 있는 장점이 있다. Fig. 1에 신경망의 개요가 나타나 있다.

학습에 사용된 신경망은 일반화된 멘타규칙을 사용하는 다중 퍼셉트론(Multilayer-Perceptron)으로 비선형 문제, 형상분류, 인식, 제어 등의 분야를 해결하는데 우수한 특징을 가지고 있다.^{[7][8]} 학습 방법으로는 감독 학습 방법(Supervised Learning)을 사용하였고 은닉층(Hidden Layer) 2개, 학습률(Learning Rate) 0.9, Momentum Rate 0.7, 오차(error) 0.0001로 하였다.

2.2 신경망의 학습데이터

Fig. 2와 같이 냉간단조의 성형 공정들 중 전방압출, 후방압출, 업세팅의 3가지 공정에 있어서 여러가지 형상에 대해 성형난이도를 평가한 데이터를 작성하였다. 이것은 신경망에 학습시키기 위한 학습데이터가 된다. 이러한 신경망의 학습데이터를 구축하는데는 현장 전문가들과의 인터뷰, 문헌상에서의 전문적인 지식 습득, FEM 시뮬레이션 및 실험 등의 방법이 있다.^[9] 본 연구에서는 문헌상에서 전문적인 지식을 습득하는 방법을 택하여 문헌 상의 지식들^{[4][5][11][12]}을 참고하여 성형이 가능한 경우를 성형난이도 0.1, 불가능한 경우를 성형난이도 0.9로 두고 성형이 가능하지 불가능한지를 판단하기가 가장 애매한 형상을 성형난이도 0.5로 두어 학습데이터를 작성하였다. 나머지 형상들의 성형난이도는 이것을 기준으로 일정한 간격을 유지하도록 값을 주었다. 전방압출의 경우에는 구속 전방압출을, 업세팅의 경우에는 원통업세팅을 기준으로 하였다. Table 1은

후방압출에 관한 학습데이터로서, 여러가지 형상을 Fig. 2 (b)에서 d_i/d_o 과 l_i/l_o 의 형상비로써 표현하였다. 전방압출에 해당하는 형상은 Fig. 2 (a)에서 l_i/d_o 과 d_i/d_o 으로, 업세팅은 Fig. 2 (c)에서 d_o/l_o 와 l_i/l_o 으로 표현하였다.

전방압출, 후방압출, 업세팅의 3가지 공정들에 있어서 이를 각각의 학습데이터가 일단 신경망에 학습되고 나면, 후에 시스템이 이를 중 특정한 데이터를 원할 때 다시 학습할 필요가 없으므로 초기 소재를 결정하는데 소요되는 시간은 매우 짧다.

3. 초기 소재의 결정

3.2 초기 소재 직경이 단조품에 존재하는 경우

냉간단조 가공은 그 전후에 있어서 재료와 제품의 체적(또는 중량) 변화가 없기 때문에, 초기 소재의 치수는 그 체적이 가공하려고 하는 형상의 물품과 같은 체적이 되도록 결정한다. 따라서 그것을 구하는 방법은 가공품의 형상을 몇 개의 개선하기 쉬운 단순한 형상으로 나누어 그 개개의 체적 계산에서 전체의 체적을 구한다. 단조품 형태와 초기 소재와의 일반적인 관계는 Table 2와 같다.^[10]

우선 초기 소재 직경이 단조품에 존재하는 경우로서 Fig. 3 (a)와 같은 단조품을 예로 들면, 초기 소재 직경으로서 26mm, 19mm, 13mm를 각각 초기 소재의 직경이라 가정했을 때 예상되는 공정별 성형난이도를 결정할 수 있다. Fig. 3 (b)는 초기 소재 직경을 26mm라 두고 2회의 전방압출 공정을 예측하여 각각의 성형난이도를 결정한 것이며 Fig. 3 (c)와 (d)는 초기 소재 직경을 각각 19mm, 13mm라 둔 경우이다. Fig. 4는 이들의 자료를 도식화한 것이다. 여기에서 초기 소재 직경으로는 26mm가 두 번의 전방압출 공정 모두 성형난이도 34.9%와 41.8%로서 충분히 성형 가능함을 알 수 있다. 직경 19mm의 초기 소재를 사용할 경우에는 전방압출의 성형난이도는 41.8%로서 성형 가능하나 업세팅의 성형난이도가 80.5%로서 높은 수치를 가지고 한 번의 업세팅 공정으로 성형하는데 어려움이 있으며, 직경 13mm인 경우에는 두 번의 업세팅이 각각 성형난이도 91.0%와 80.5%로 성형이 매우 힘들다. 따라서 최적의 초기 소재는 26mm의 직경을 가지는 것임을 알 수 있다.

3.2 초기 소재 직경이 단조품에 존재하지 않는 경우

초기 소재의 결정 방법은 초기 소재의 형상을 될 수 있는 대로 제품의 형상에 가깝게 하여, 가공할 때 이동하는 재료의 양이 될 수 있는 대로 적게 하는 것이 바람직하다. 이를 위해서는 일반적으로 단조품 형상에 존재하는 직경들 중의 하나를 초기 소재의 직경으로서 선택하나, 경우에 따라서는 단조품 형상에 존재하지 않는 직경을 초기 소재의 직경으로 하는 것이 더 바람직할 때도 있다.

Fig. 5와 같이 직경의 변화가 큰 형상을 가진 단조품의 경우에는 초기 소재 직경을 30mm나 12mm로 택하였을 경우

단조품 내의 변형률 분포가 고르지 못하고 한 쪽의 단으로 치우쳐 좋은 공정설계를 기할 수 없다. 다만 부품의 소재직경은 부품의 최내 직경과 최소 직경 사이에 있다고 볼 수 있으므로 30mm와 12mm 사이에 존재하는 적절한 직경을 선택하였을 때, 보다 합리적인 공정설계를 기대할 수 있을 것이다.⁽¹⁰⁾ Fig. 6에 시스템에서 직경 30mm에서부터 0.1mm씩 줄여 가면서 예상되는 각 공정에 대한 성형난이도를 구한 결과가 나타나 있다. 특정한 초기 소재 직경에 대해 각 공정별 성형난이도들을 모두 구한 다음, 이들 중 최대값과 최소값 그리고 평균값을 나타내었다. 이 그림으로부터 소재 직경이 변화함에 따라 성형난이도가 어떠한 양상으로 변화하는지를 알 수 있다. 초기 소재 직경이 20mm인 경우 평균 성형난이도는 50%이하로 양호한 범위 내에 있으나 최대 성형난이도가 55% 가까이 되므로 이것을 초기 소재로 하였을 때에는 공정이 하나 더 추가될 가능성을 시사하고 있다. 초기 소재 직경이 17mm인 경우에는 성형난이도의 최대, 최소, 평균값 모두가 약 43.0%로서 최적의 초기 소재 직경이 됨을 알 수 있다. 이를 초기 소재로 하여 공정설계를 행한 결과는 Fig. 7과 같다. 각 공정의 성형난이도는 전방압출에서 42.5%, 업세팅에서 43.5%를 얻었다.

Fig. 3 (a)의 단조품을 시스템에서 직경 26.0에서부터 13.0 까지 직경을 0.01씩 줄여 가면서 성형난이도를 구한 결과는 Fig. 8과 같다. 평균 성형난이도는 초기 소재 직경이 22.2mm일 때가 가장 낮고 최대 성형난이도 또한 41.8%로서 양호하나, 단조품에 존재하지 않는 직경을 초기 소재로 선택함으로서 성형공정이 하나 더 추가될 가능성이 있다. 그러므로 성형공정 수 까지 감안하여 초기 소재 직경을 26mm로 하였을 때가 최적임을 확인할 수 있다.

4. 결과 및 고찰

Fig. 9 (a)에 주어진 단조품 형상에 대하여 신경망을 이용하여 각 성형공정에 따른 성형난이도를 구한 결과가 Fig. 9 (b) 와 (c)에 나타나 있다. Fig. 9 (b)는 단조품 내에 존재하는 직경들을 초기 소재 직경으로 두었을 때의 예상되는 공정별 성형난이도의 분포를 보여주고 있으며 Fig. 9 (c)는 최대 직경과 최소 직경의 사이에서 초기 소재 직경을 0.1mm씩 변화시켰을 때의 성형난이도 분포를 나타내고 있다. 직경이 30mm이하로 내려갈 때 최대 성형난이도가 급격히 증가하는 것은 성형하기 매우 힘든 두 개의 업세팅 공정이 추가되기 때문이다. 여기에서 최적의 초기 소재는 직경 30mm임을 알 수 있다. 그 보다 약간 큰 직경을 사용하여도 무방하나 이 때는 성형공정수가 하나 더 추가된다.

Fig. 10은 J.C.Choi 등이 개발한 "COFCAD"에서 수행한 공정설계의 결과이다.^{(11) (12)} 본 연구에서는 단조품 재료로 보통의 성형성을 가지는 AISI 1018, 1020, 1035, 5120, 5140 계열을 택하였으나 여기서는 성형성이 좋은 AISI 1010을 택하여 중공부의 성형에 문제가 없는 것으로 나타나 있다.

Fig. 11 (a)와 같이 중공부를 포함한 단조품 형상에 대하여 각 성형공정에 따른 성형난이도를 구한 결과가 Fig. 11 (b)

와 (c)에 나타나 있다. 중공부가 존재하는 경우에는 각 요소별로 중공부를 성형하는 성형난이도를 구하였다. 즉, Fig. 11 (b)와 같이 두 번의 후방압출로 중공부를 성형하는 것으로 하였다. 실제로는 한 번에 후방압출을 행하나 이 경우 중공부에 해당하는 요소의 외경에 길이 방향으로 변화가 생기므로 신경망에 조회할 수 없는 형상이 된다. 신경망에 조회할 수 있는 중공부 형태는 길이 방향으로 내경과 외경의 변화가 없어야 한다. Fig. 11 (b)에서 보는 바와 같이 중공부의 경우는 초기 소재 직경에 상관없이 성형난이도가 일정하다. 그러므로 이것은 초기 소재를 결정하는데는 영향을 미치지 못한다. 그러나 초기 소재를 결정한 후의 단조품설계나 공정설계에 참고사항으로 활용할 수 있다. 3개의 직경 70.00mm, 37.55mm, 29.60mm에서 성형난이도가 가장 낮은 것은 직경 37.55mm임을 알 수 있다. Fig. 11 (c)는 최대 직경과 최소 직경의 사이에서 초기 소재 직경을 0.05mm씩 변화시켰을 때의 성형난이도 분포를 나타낸 것이다. 직경 29.60mm에서 37.55mm 사이에서는 업세팅의 성형난이도가 최대 성형난이도가 되고, 직경 37.55mm에서 61.3mm 부근 사이에서는 후방압출의 성형난이도가 79.3%로서 최대 성형난이도가 되며, 61.3mm에서 70mm사이에서는 전방압출의 성형난이도가 최대 성형난이도가 된다. Fig. 11 (b)에서와 마찬가지로 최적의 초기 소재는 37.55mm임을 알 수 있다. 이 때 문제가 되는 공정은 중공부의 후방압출이 성형난이도 79.3%로서 다소 높은 값을 가지는 것인데, 이러한 문제는 단조품설계 또는 공정설계에서 처리하는 것이 바람직하다.

Fig. 12는 J.C.Choi 등이 개발한 "COFCAD"에서 수행한 공정설계의 결과이다.^{(11) (12)} 본 연구에서는 단조품 재료로 보통의 성형성을 가지는 AISI 1018, 1020, 1035, 5120, 5140 계열을 택하였으나 여기서는 성형성이 좋은 AISI 1010을 택하여 중공부의 성형에 문제가 없는 것으로 나타나 있다.

5. 결 론

축대칭 냉간 단조품의 초기 소재를 결정하는 문제에 신경망을 도입하여 여러가지의 초기 소재들에 대한 공정별 성형난이도를 조사하여 초기 소재의 변화에 따라 성형난이도가 어떠한 양상으로 변화하는지를 알아보고, 이들 중 가장 양호한 성형난이도를 가지는 초기 소재를 선택함으로써 합리적인 단조품설계 및 공정설계를 기할 수 있게 되었다. 본 연구에서 얻은 결론은 다음과 같다.

(1) 전방압출, 후방압출, 업세팅의 공정에 대해 형상비에 따른 성형이 어려운 정도를 나타내는 성형난이도를 정의하고, 각 공정에 대해 성형난이도를 평가한 데이터베이스를 구축하였다.

(2) 신경망을 도입하여 단조품의 초기 소재 직경 변화에 따른 성형난이도의 변화 양상을 알 수 있었다.

- (3) 초기 소재 직경이 단조품에 존재하는 경우와 존재하지 않는 경우, 성형에 필요한 공정수의 증가 여부를 예측하여 이를 고려함으로써 최적의 초기 소재를 결정할 수 있었다.
- (4) 보다 복잡한 여러가지 단조품 형상에 적용하기 위해서는 성형에 필요한 공정으로 투브 전방입출, 투브업세팅 등의 공정들도 고려하여야 한다.

후기

본 연구는 1995년 한국금형 주식회사(Hankuk Mold Co.,LTD)의 연구비 지원으로 수행되었으며, 관계자 분들께 깊은 감사를 드립니다.

6. 참고문헌

- 1) Lange, K., Handbook of Metal Forming, McGraw-Hill, New York, 1985
- 2) 日本塑性加工學會冷間鍛造分科會 第2回冷(溫)間鍛造實務講座資料, 44, 1971
- 3) A.A.Badawy, D.J.Kuhlmann, P.S.Raghupathi and T.Altan, "Computer-Aided Design of Multistage Forging Operations for Round Parts", Journal of Mechanical Working Technology, Vol.11, pp.259-274, 1985
- 4) 김홍석, 축대칭형 제품의 냉간단조 공정설계용 전문가시스템 개발, 한국과학기술원 석사학위논문, 1994
- 5) 김홍석, 임용택, "다양한 머리 형상을 갖는 체결구의 냉간 단조 자동 공정 설계 시스템" 한국소성가공학회 '94 추계 학술대회 논문집, pp.141-148
- 6) Joseph Smith & Rusty Gesner, INSIDE AutoLISP, New Riders Publishing, Thousand Oaks, California, 1989
- 7) 이상원, 학습하는 기계 신경망, Ohm사, 1993
- 8) 김동진, 고대철, 김병민, 강병수, 최재찬 "신경망과 유한요소법을 이용한 단조품의 초기 소재 결정" 한국소성가공학회 추계학술대회 논문집, pp.133-140, 1993
- 9) K.NAKASHI, "知識ベースお用いた冷間鍛造工程設計支援システム", 日本塑性加工學會誌, Vol.34, No.387, pp.416~421, 1992
- 11) 최재찬, 김병민, 진인태, 김형섭, "퍼스널 컴퓨터에 의한 냉간단조 공정 및 금형설계의 자동화에 관한 연구(I)", 대한기계학회논문집, 제12권, 제4호, pp 712-720, 1988
- 12) 이언호, "냉간단조 공정설계 및 금형설계의 자동화시스템에 관한 연구", 부산대학교, 박사학위논문, 1995

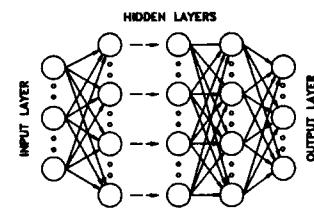


Fig. 1 Multi layer perceptron neural network

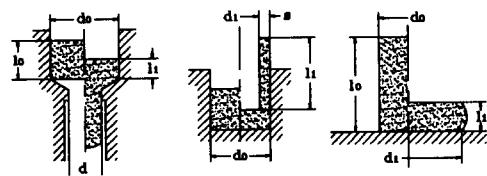


Fig. 2 Dimensions and notation of parts before and after forging process

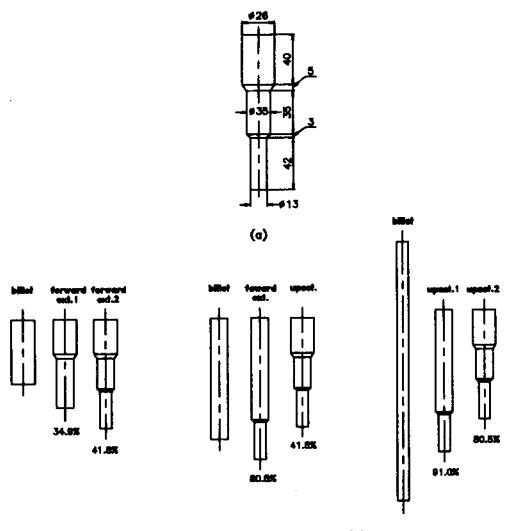


Fig. 3 Variable forming sequences for each billet diameters

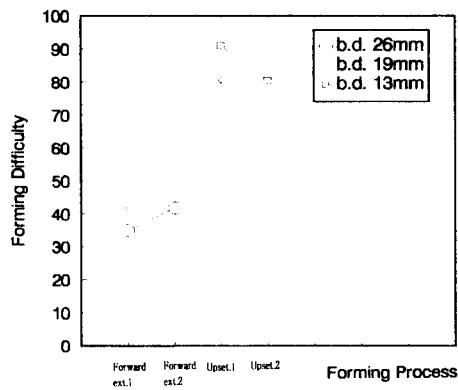


Fig. 4 Forming difficulties for billet diameter
26mm, 19mm, 13mm

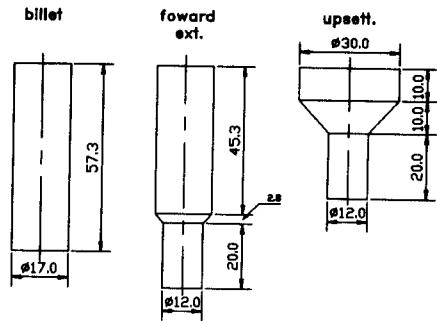


Fig. 7 Forming sequence design for billet diameter 17mm

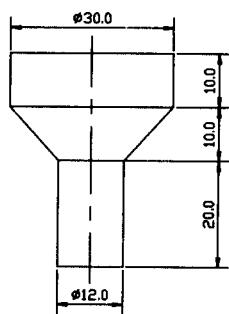


Fig. 5 An example of forging product

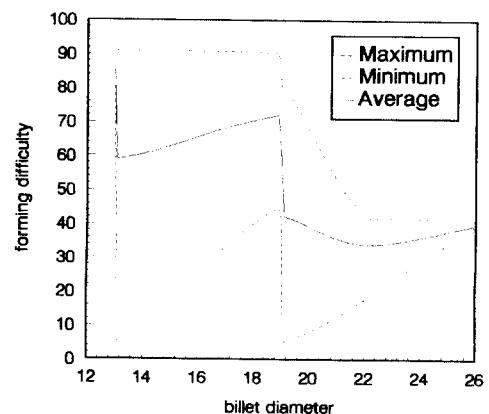


Fig. 8 Forming difficulty for 0.1mm increment
from billet diameter 13mm to 26mm

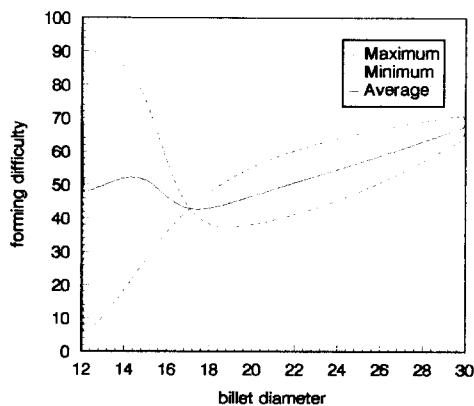
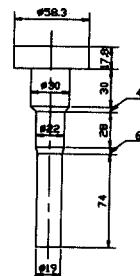
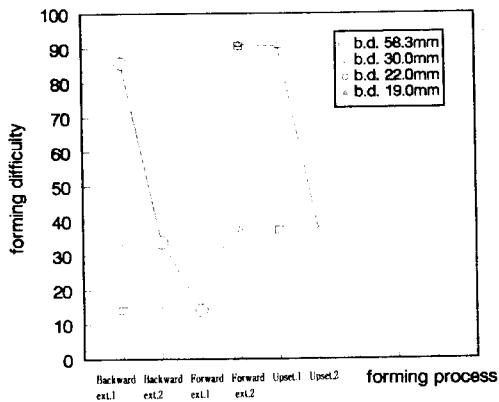


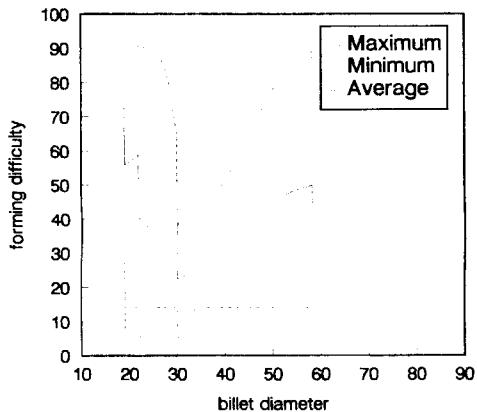
Fig. 6 Forming difficulties for 0.1mm increment
from billet diameter 12mm to 30mm



(a) An example of forging product



(b) Forming difficulties for billet diameter
58.3mm, 30mm, 22mm, 19mm



(c) Forming difficulties for 0.1mm increment
from billet diameter 19.0mm to 58.3mm

Fig. 9 Forging product and forming difficulty

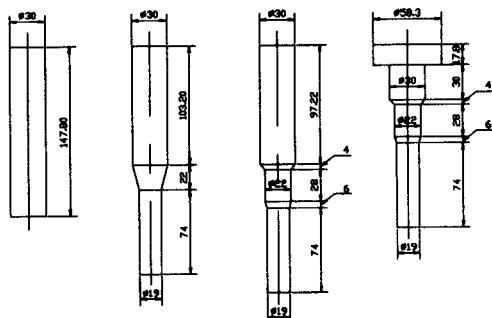
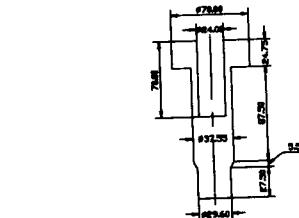
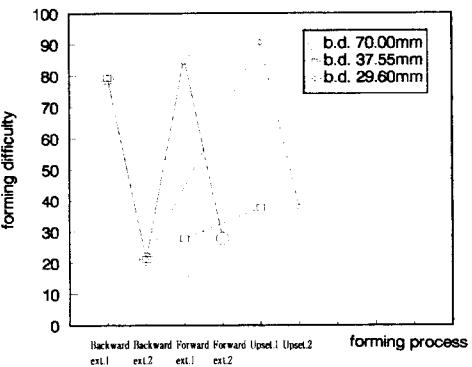


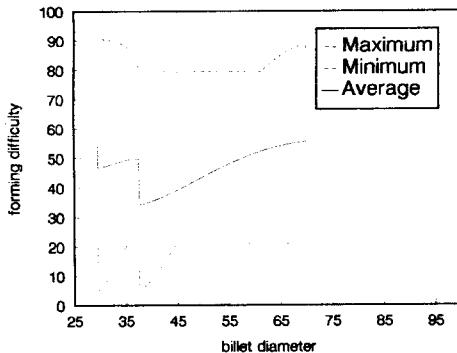
Fig. 10 An example of forming sequence design
for solid part



(a) An example of forging product



(b) Forming difficulties for billet diameter
70.00mm, 37.55mm, 29.60mm



(c) Forming difficulties for 0.05mm increment
from billet diameter 29.60mm to 70.00mm

Fig. 11 Forging product and forming difficulty

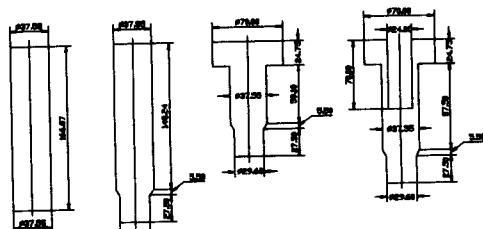


Fig. 14 An example of forming sequence design
for hollow part