

有限要素 시뮬레이션을 이용한 알루미늄 7075 복합 압출材에 對한 工程改選 研究

*김 진 복 *이 지 역 **강 범 수

* (주) 풍산 기술연구소

** 부산대학교 항공우주공학과

A Study on Process Improvement of Combined Extrusion with Aluminum Alloy 7075

ABSTRACT

A combined extrusion process studied here consists of forward and backward extrusion, and it is formed in single operation. The metal flow involved in the operation has appeared to be difficult to analyze accurately because of mixed directions of the flow. In this study, conventional two operations of a forward and a backward extrusions is transformed into one operation of mixed extrusion. A process designed by an industry expert is simulated by the rigid-plastic finite element method to investigate the metal flow and defects. In addition to the FEM simulation, experimental analysis has been carried out to confirm the design in industry, which includes material characterization, preliminary experiment, and whole experimental forming operation. The experimental results show that warm forming of extrusion is more desirable than cold working and hot forming in view of grain growth. Also two conditions of lubrication between workpiece and die has been investigated.

KEY WORDS: Combined extrusion, Grain growth, Lubricant, FEM simulation, Experiment

1. 서 론

복합압출(Combined Extrusion)은 전방압출(Forward Extrusion)과 후방압출(Backward Extrusion)을 조합한 것으로 단일공정으로 완제품의 성형이 가능하며, 양 방향으로 소성유동이 됨에 따라 유동성이 좋고, 가공하중도 각각의 압출로 하는 것보다 작고, 우수한 기계적성질 및 표면조도를 얻을 수 있어 정형(Net Shape)가공하기에 적합한 공법이다.

이러한 장점에도 불구하고 이 분야에 대한 연구

가 미흡하고, 현장에서도 유동해석이 어려워 실제로는 그 이용도가 빈약한 편이다. 예를 들어 상하 컵형의 전후방 압출공정에 있어서 압출되어 나오는 소재의 유동이 두 방향이상이며, 이들은 상호 구속되어 있는 비정상상태의 유동이어서 해석하기가 어렵다. 그래서 현장에서 적용하기란 그리 쉽지 않다. 따라서, 이러한 경우 실제 현장에서는 전방 압출과 후방압출로 각각 나누어 작업하여 왔다.

본 연구에 적용된 부품은 방산부품의 중간재

품으로 사용되는 알루미늄압출재로 개선공정에 복합압출공법을 도입하였으며, 공정개선에 필요한 과정으로 소재특성확인실험, 유한요소해석, 금형설계, 예비실험(Preliminary test), 적합성(Compatibility test)의 과정을 거쳤다.

Fig. 1에서 보면 알루미늄압출재는 외부가 이 단형태로 되어 있는 상·하접형의 형상을 하고 있고, 이는 최종 완제품상태가 아니라, 후공정인 금속유동성형(Metal Flow Forming)을 위한 예비성형체인 관계로 다음과 같은 설계제약조건을 갖고 있다. 즉 1) 전 부위에 걸쳐 결정립이 미세하여야 하며 2) 불필요한 열처리공정을 배제하고 3) 표면상태 및 치수정밀도가 우수해야 한다.

알루미늄압출재에 대한 개선된 공정은 Fig. 2와 같이 소재를 450℃로 가열하여 업셋팅펀치(Upsetting punch)를 하강시켜 전방압출을 먼저 실시하고, 후방압출펀치를 이용하여 후방압출을 수행한다. 이때 후방압출은 스토르크(Stroke)가 큰 관계로 윤활공급이 제대로 이루어지지 않기 때문에 스토르크를 3회에 나누어 실시한다. 압출이 완료되면 내,외부를 선반가공하고, 열간압출시 유동이 없어 금속조직이 조대하게 형성된 바닥칸막이(Bulk-head)부위는 냉간헤딩(Cold-Heading)을 실시하여 조대한 금속조직을 파괴시켜 재결정을 형성하도록 함으로서 새로운 미세한 조직을 만든다. 그리고 마지막으로 내·외부 선반가공을 하여 최종완성한다.

이 공정설계의 문제점은 1) 많은 공정수로 인한 인원 및 장비가 과다하게 소요되고, 2) 과다한 선반가공으로 인한 생산량저하, 3) 제품대비 소재 투입량 과다(소재손실과다), 4) 내부가공을 위한 불필요한 열처리공정 추가, 5) 바닥칸막이부위 결정립미세화를 위한 냉간헤딩공정추가, 6) 불량률 과다, 7) 품질저하(표면조도, 치수공차, 금속조직 및 기계적성질등)로 볼 수 있다.

따라서, 개선하고자 하는 공정구상은 복합압출공법을 적용하여 단일공정으로 완제품형상을 성형하고 제품추출시나 취급시 뒤틀린 부위를 교정하기 위해 사이징(Sizing)을 하여 마무리 가공한다. 금형설계는 전문가시스템(Expert system)방식을 도입하여 금형을 완제품 내·외부형상대로 설계하고, 복합압출공법을 도입하여 단일공정으로 제품을

성형토록 하였다. 전문가시스템방식으로 설계된 금형에 대해 유한요소 시뮬레이션으로 가능성을 검증하고 실제 실험을 통하여 수정보완하여 최적의 공정이 되도록 설계하였다.

또한 여기 사용되는 소재는 단조성이 다른 알루미늄합금보다 저하되는 7075합금열간압출재를 사용하였는데 이는 문헌상에 압출상태에 대한 자료가 없는 관계로 압축실험을 실시하여 소재특성을 확인하여 정확한 소성해석이 이루어지도록 하였다.

2. 금형 설계 및 구조

2.1 금형 설계

금형설계는 전문가설계방식을 도입하였으며, 단일공정의 복합압출이 이루어지도록 하기 위해 금형형상을 완제품형상이 나오도록 설계하였다. 즉, 가동부 펀치(Forming Punch)는 중공형 후방압출펀치의 설계기준에 맞춰 제품내부형상이 성형되도록 설계하였고, 고정부 펀치(Stationary Punch)는 녹 아웃 헤드(Knock-Out Head)형태를 택하여 원하는 길이만큼 성형후 유동을 구속시켜 정형가공이 되도록 하였다. 또한 내부공차범위내에서 성형후 제품 추출과 유동속도를 조절하기 위해 0° 30'의 테이퍼를 적용하였으며, 다이는 제품외부형상에 성형되도록 설계하였다.

상기 금형설계대로 작업이 가능한 지를 전문가시스템으로 가공한계를 고려해 보면 Table 1에 나타낸대로 각 기준대로 적용해 볼 때, 전방압출에서는 가공한계범위내에 있고 후방압출에서는 압출비가 임계치에 도달해 있으며 압출높이는 임계치를 초과하고 있으나 경험상으로 볼 때 알루미늄소재는 특성상 가공중이 임계점에 도달할 때까지 압출이 연속적으로 이루어지므로 압출높이는 문제가 되지 않는다.

유동해석에 대한 검증은 유한요소 시뮬레이션으로 검증하였다.

2.2 금형구조

다이, 펀치, 녹 아웃 헤드와 다이 플레이트(Die Plate)는 압출시 응력이 집중되는 곳이므로 공구강 SKD 61종 소재를 사용하여 경도가 록크웰경도기

준("C" scale)으로 58 ~ 62 가 되도록 열처리하여 형상가공하였다. 이러한 금형의 구조는 Fig. 3에 나타나 있다.

가공된 다이는 300 톤 유압프레스에 설치하기 위해 다이홀더(Die Holder)안에 프레스를 이용하여 가압조립하였고, 녹 아웃 헤드는 녹 아웃(Knock-Out Bar)에 나사체결조립하고, 다이안에 넣어 다이 플레이트위에 장착시키고 펀치와 제품간의 추출시 분리를 위해 스트립퍼세트(Stripper Set)를 다이 홀더위에 장착시켰다.

펀치는 상부 램(Ram)에 연결볼트로 나사체결하여 펀치 상부 단면이 램과 밀착이 되도록 조립하고, 펀치를 스트립퍼세트의 펀치안내경을 따라 하강시켜 다이와 동심을 맞춘 후, 다이를 베이스 플레이트(Base Plate)에 조립하였다.

압출작업은 소재를 다이안에 넣고 펀치를 스트립퍼세트의 안내경을 따라 하강시킨 후 펀치가 제품에 닿을 때 120 mm/sec의 속도로 가압하였다. 이때 펀치의 하한점 조절은 리미트 스위치(Limit Switch)로 하였다.

성형이 끝난 후, 제품 추출은 하부실린더를 이용하여 녹 아웃 헤드를 밀어 올려 제품을 추출하고, 만일 펀치에 제품이 부착될 경우 스트립퍼를 이용하여 분리시켰다.

3. 유한요소 시뮬레이션

금속성형공정의 해석에 효과적이며, 현재 널리 사용되고 있는 수치해법인 강소성 유한요소법에 대한 이론과 수식화 과정은 이미 널리 알려져 있다.

비압축성 조건을 만족하기 위한 벌칙함수(penalty function) K를 도입하면, 강소성 재료에 대한 1차 변분 범함수는 다음과 같다.

$$\delta\pi = \int_V \bar{\sigma} \delta \bar{\epsilon} dV + K \int_V \dot{\epsilon}_{ij} \delta \dot{\epsilon}_{ij} dV - \int_{S_f} f_i \delta u_i dS = 0 \quad (1)$$

$$\text{여기서 } \bar{\sigma} = \sqrt{3/2} (\dot{\sigma}_{ij} \dot{\sigma}_{ij})^{1/2}$$

$$\bar{\epsilon} = \sqrt{2/3} (\dot{\epsilon}_{ij} \dot{\epsilon}_{ij})^{1/2}$$

, $\dot{\sigma}_{ij}$ 는 편차응력, f_i 는 표면외력, u_i 는 속도성분,

$\dot{\epsilon}_{ij}$ 는 변형률 속도, $\dot{\epsilon}_v$ 는 체적 변형률속도이다.

표면외력으로 주로 작용하는 금형과 소재사이의 마찰의 처리를 위하여, 마찰면에서의 중립점발생으로 인한 특이성을 피하여 수치해의 안정성을 고려한 다음의 식을 사용한다.

$$\dot{f} = -mk \frac{2}{\pi} \tan^{-1} \left(\frac{|\dot{v}_r|}{u_0} \right) \frac{\dot{v}_r}{|\dot{v}_r|} \quad (2)$$

여기서 m 은 마찰상수, k 는 소재의 전단항복응력, \dot{v}_r 은 금형에 대한 소재의 상대속도, u_0 는 \dot{v}_r 에 비하여 아주 작은 양수이다.

일반적인 유한요소 분할화 과정을 거치면, 질점 속도벡터 \dot{v} 에 대한 비선형 방정식이 된다.

$$Q(\dot{v}) = K(\tilde{x}, \bar{\epsilon}, \dot{\epsilon}) \dot{v} - F(\tilde{x}, \dot{v}) = 0 \quad (3)$$

여기서 K 는 강성행렬(stiffness matrix), F 는 힘 벡터(load vector), \tilde{x} 는 질점좌표 벡터이다. 식(3)은 Newton-Raphson반복법을 이용하여 해를 구하며, 초기속도장은 직접반복법(direct iteration method)을 이용하여 구한다.

4. 실험방법

4.1 소재 압축 시험

이 실험에 사용된 소재는 알루미늄 7075를 적용하였는데, 이는 각종 문헌상에 알루미늄 7075소재의 어닐링상태와 열처리상태에 대한 자료는 많으나, 열간압출된 소재에 대한 자료가 없어 유한요소해석에 필요한 소성계수 C 와 가공경화지수 n 값을 얻기 위해 압축시험을 실시하였다. 하중-변위 곡선을 알 수 있는 100 톤 압축시험기를 이용하여 가압속도를 50 mm/min으로 하여 $\phi 20.0 \times H 20.0$ 의 압축시편을 압축비(1-H/H₀)가 0.75가 될 때까지 압축시켰다.

압축시험은 열간압출상태와 어닐링(465℃에서 1시간 유지)상태를 비교하였으며, 참고로 시편만 200℃, 300℃, 400℃로 전기로에서 가열하여 압축시험을 실시하였다.

4.2 예비 실험

이 실험은 작업형태를 열간, 온간과 냉간중 가장 적합한 조건을 선정하고, 적절한 소재형상을 결정하기 위한 실험이며, 소재형상은 Fig. 4와 같이 두 가지 형태를 설정하였으며, (1)의 경우는 소재 가공없이 압출재를 소요길이만큼 절단하여 바로 사용할 수 있다는 장점이 있는 반면 다이내에 소재를 지지하는 부위가 작아 불완전하게 고정되어 불균일한 제품형상을 발생할 우려가 있으며, (2)의 경우는 균일한 제품을 얻을 수 있는 반면, 소재가공이라는 공정추가와 칸막이부위에 유동이 없는 비유동구역(Dead Metal Zone)이 발생할 수가 있다.

각 조건에 따른 실험결과를 내·외면 표면상태, 치수정밀도, 금속조직 및 결합상태, 작업성등을 고려하여 최적의 작업형태와 소재형상을 설정하기 위한 실험이다.

전기로에서 열간과 온간조건을 각각 450℃, 300℃로 가열하고, 냉간은 상온의 상태로 소재를 준비한 후, 300℃로 예열된 금형의 다이내에 소재를 넣고 편치를 하강시켜 제품을 성형하였다. 성형된 제품은 녹 아웃 헤드와 스트립퍼를 이용하여 금형에서 분리시켜 추출하였다. 이때 윤활제는 기름(미강유)에 흑연을 혼합하여 금형에 도포하여 윤활처리하였다.

실험이 끝난 제품은 금속조직 및 유동을 관찰하기 위해 용체화처리(465℃에서 30분 유지)하여 Keller시약으로 부식시켰다.

4.3 적합성 실험

예비실험에서 선정된 온간작업형태에 대해 적합성 여부를 판단하기 위한 실험이다. 즉, 가열조건 세분화, 최적의 윤활조건, 작업운용시스템의 문제점등을 확인하기 실험이다.

가열조건을 200℃와 300℃로 나누고, 윤활조건을 열간작업시 주로 사용하는 기름에 흑연을 혼합하여 금형에 도포하는 방식과 냉간에 주로 사용하는 본더루베(Bonder-Lube)를 제품에 부착시키는 방식을 비교분석하였다.

5. 고찰 및 결과

5.1 소재 압축 시험

알루미늄 압출소재 7075를 압축시험한 결과 나타난 하중과 변위곡선으로 부터 응력-변형률관계를 얻어 최소자승법으로 소성계수 C 와 소성가공경화지수 n 를 구한 결과 다음과 같은 결과식을 구하였다.

$$\bar{\sigma} = 573.79 (\bar{\epsilon})^{0.1847} \text{ (MPa)} \quad (4)$$

Fig. 5의 하중과 변위의 곡선을 보면 하중이 35톤 부근에서 하중감소현상이 일어났는데 이는 그 지점에서 연성과파괴가 일어났기 때문이다.

유효변형률과 금속조직간의 관계를 Fig. 6에서 보면 유효변형률이 0.94일때 원소재자체의 압출조직을 나타내고 있다.

또한 소재가 열간압출된 상태와 어닐링한 상태를 비교실험한 결과 연성과파괴지점의 변위가 2 mm 증가했을 뿐 가공하중에는 차이를 보이지 않았다.

즉 압출재는 어닐링을 해도 그다지 큰 효과를 볼 수 없었다. 또한 참고로 Fig. 7은 다이와 편치는 상온상태이고 소재만 200℃, 300℃, 400℃로 가열했을 때 변위와 하중과의 관계를 나타낸 곡선이며 냉간과 비교할 때 하중은 별 차이를 보이지 않는다. 이것을 유추하면 열간이나 온간단조시 금형 예열이 없으면 금속유동이나 가공하중면에서 냉간과 그다지 차이를 보이지 않는다는 단적인 예이다. 또한 연성과파괴형태를 보면 냉간에서는 슬립면을 따라 45° 방향을 따라 파괴된 반면 소재가 가열된 조건에서는 축방향과 평행하게 파괴되었다. 이는 냉간에서는 슬립면이 {1 1 0}을 나타내나, 열을 가하면 그 방향성이 {1 0 0}으로 나타남을 알 수 있다.

5.2 예비 실험

Fig. 8을 보면 열간상태에서는 소재형상에 관계없이 전방압출과 후방압출의 실린더부위에서 결정립성장(Grain Growth)현상이 발생하였고, 온간과 냉간에서는 결정립이 미세하게 나타났다. 이는 열간에서는 다이와 소재사이의 마찰열, 가공열에 의한 온도차이와 변형량과 변형률의 관계로 나타났다.

현 제품형태로 볼 때 열간에서는 결정립현상을 방지할만한 조건이 안되므로 열간형태는 배제하고

온간과 냉간을 택해야 하나 냉간에서는 심한 펀치마모와 좌굴 현상이 발생함에 따라 온간형태가 가장 적합한 작업조건으로 선정하였다.

소재형상에 따라 비교해 보면 Fig. 4의 (1)인 경우는 후방압출부 실린더부위에 벽두께 차이가 심하게 나타났으며(최대 1 mm), (2)의 경우는 벽두께는 균일하나 칸막이부위의 양쪽모서리부근에서 비유동영역이 생겼으나, 이 부위는 지속적으로 압축응력을 받아 결정립이 미세하게 나타나 강도에는 이상이 없는 것으로 판명되었다. 따라서 최적의 소재형상은 (2)인 경우로 결정하였다.

결정립크기에 따른 경도비교를 정확히 하기 위해 비이커스경도(Hv 10kgf)로 시험한 결과 Table 3과 같이 경도는 결정립크기와 무관하게 나타났다.

5.3 적합성 실험

금속조직결과를 보면 250℃가 300℃보다 약간 더 미세하게 나타났다. 따라서 최적의 소재가 열조건은 250℃이다. 이때의 금형온도는 펀치가 120℃ 다이가 150℃였다.

윤활조건을 비교해 보면 Fig. 9에서 보듯이 흑연과 기름의 혼합인 경우는 실린더 외부에 불연속 유동으로 인한 터짐현상이 발생한 반면, 본더루베의 경우는 발생하지 않았다. 이는 흑연과 기름의 혼합인 윤활인 경우 금형내 불균일한 윤활도포로 인해 이 부위에서 불연속적으로 윤활형태가 작용하여 이것이 금속유동의 불연속을 초래하여 터짐현상을 발생시켰다. 따라서 윤활조건은 균일하게 할 수 있는 본더루베방식이 최적이다.

치수정밀도와 외관(표면조도, 금속결점등)을 비교해 보면 Table 4에서 보듯이 250℃에서 본더루베윤활조건이 가장 우수하였다.

5.4 유한요소 시뮬레이션 비교 고찰

금속유동형태를 보면 초기에는 펀치가 하강함에 따라 전·후방압출이 동시에 일어나며 진행함에 따라 전방압출의 유동이 후방압출보다 빨리 진행하나, 녹 아웃 헤드의 0° 30'의 테이퍼로 인해 전방압출부의 단면감소율이 점차 커지기 때문에 전방압출보다 후방압출이 빨리 형성된다. 그러나 전방압출부의 길

이가 후방압출의 길이보다 짧기 때문에 스토포크 45 mm 부터는 설계자의 요구조건을 만족하고 있다.

유효응력측면에서 보면(Fig. 10~11) 초기에는 녹 아웃 헤드의 모서리부분에서 집중응력(647.95 MPa)을 받고 있으나, 펀치가 하강함에 따라 펀치모서리부분에서 집중응력(740.98 MPa)을 받고 있다. 펀치모서리부위의 집중응력은 펀치마모를 초래할 뿐 아니라 다이와 펀치중심의 불일치로 인한 편하중작용시 좌굴현상이 발생할 우려가 있다. 따라서 냉간조건으로 작업하기엔 금형에 무리가 가므로 온간조건으로 작업하는 것이 적합하다.

유효변형율을 고려해 보면(Fig. 12) 초기에는 펀치와 녹 아웃 헤드의 모서리부분에서 집중적으로 일어나나 펀치가 하강함에 따라 전부위로 변형이 시작되며, 펀치모서리부분에서 최대의 변형율이 발생한다. 스토포크가 45 mm일 때까지 거의 변형이 없는 부위 즉, 비유동구역(Dead metal zone)이 발생하나 점차 사라지면서 마지막단계에서 최소 1.0이상의 변형율을 나타냈다. 따라서 공정설계시 우려했던 비유동구역은 발생하지 않았다.

유한요소 시뮬레이션 결과, 총 소요하중은 1,750 (kN)으로 실제 실험시 확인한 하중과 거의 유사하게 나타났다.

6. 결 론

알루미늄 7075압출제에 대한 공정개선 연구과정에서 도출된 결과로 부터 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 전문가가 설계한 개선공정은 유한요소 시뮬레이션과 거의 동일하게 나타났다.
- 2) 가열조건은 열간에서는 결정립성장이 발생하였고 냉간에서는 금형마모가 심하므로 온간(250℃)이 가장 적합하다.
- 3) 윤활조건은 흑연과 기름의 혼합인 경우보다 본더루베방식이 표면조도나 치수정도측면에서 우수하였다.
- 4) 결정립크기와 경도와는 상관관계가 없었다.
- 5) 소재형상은 실린더형태보다 테이퍼형태가 적합하였다.
- 6) 공정개선으로 기대되는 효과는 공정수가 7개 공정이 줄었으며, 소재는 약 225%절감할 수 있었다.

자세한 언급은 Table 5에 나타나 있다.

참고문헌

1. S. Kobayashi, S. I. Oh, and T. Altan, Metal Forming and the Finite Element Method, Oxford University Press, New York, 1989
2. K. Lange, "Handbook of Metal Forming", McGraw-Hill Book Co., 1985
3. H. Kudo, "Some Analytical and Experimental Studies of Axi-symmetric Cold Forging and Extrusion, I, II", Int. J. Mech. Sci, I: Vol. 2, 1960, pp.102~127, II: Vol. 3, 1961, pp. 91~117
4. H. H. Lin, K. Kawakami, and H. Kudo, "Metal Flow Control in Cold Simultaneous Forward/Backward Extrusion", Annals of Cirp, Vol. 37, 1988, pp.231~234.
5. R. Geiger, "Metal Flow in Combined Can Extrusion", Berichte aus dem Institute fur Umformtechnik der Universitat Stuttgart Nr.36, Verlag Girade, Essen, Germany, 1976
6. B. Avitzur, W: C. Hahn, Jr., M. Mori, "Analysis of Combined Backward/Forward Extrusion", Trans. of the ASME, 1976, pp. 438~445.
7. Li, Miaoquan and Wu, Shichun "Analysis of coexistence of two kinds of macro-defects in cup-cup axisymmetric combined extrusion." Chinese Journal of Aeronautics, Vol. 3, 1990, pp58 ~ 66.
8. 김 영득, 한 철호 "상·하컵형인 전·후방 압출공정에 관한 실험적 연구" 한국소성가공학회지, 제3권, 제3호, 1994, pp.291~301.
9. "Forging Design Handbook" ASM, Metals Park, Ohio, 1972, pp.16~52.
33. 孫 良彦, 金型設計, 機電研究社, 서울, 1988, pp.388 - 397

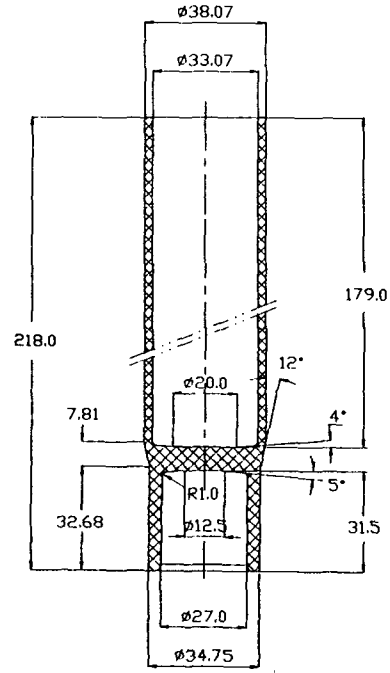


Fig. 1 Dimensions and configuration of product

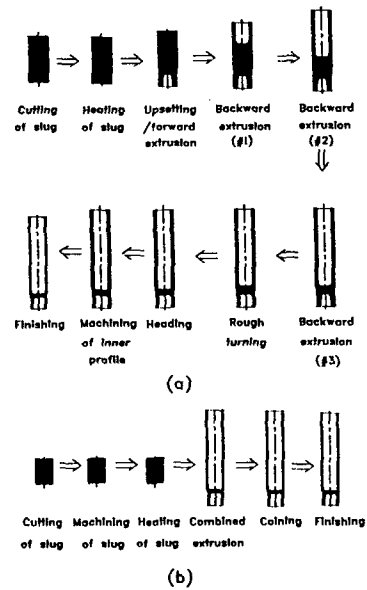


Fig. 2 Comparison in process for before/after improvement (a) before improvement and (b) after improvement

Table 2. Criteria of expert design

Dimension	Criteria	Result	Remarks
b	$\geq 0.8s$	3.03s	
L ₁	$< 2.5 \sim 3.0d_1$	5.4d ₁	
L ₂	$< 2.5 \sim 3.0d_2$	1.07d ₂	
d ₁	$< 0.86D$	0.868D	
d ₂	$\geq 0.45D$	0.76D	
β_{ef}	$< 75\%$	58.1	
β_{rb}	$< 75\%$	75.3	

Ratio of extrusion :

$$\beta_r = \frac{A_0 - (A_0 - a_1)}{A_0} \cdot 100$$

$$= \frac{a_1}{A_0} \cdot 100(\%)$$

A₀: cross-section of die

a₁: cross-section of punch

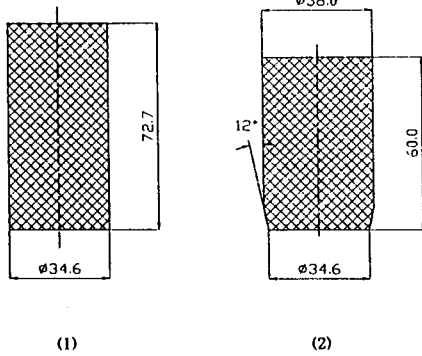
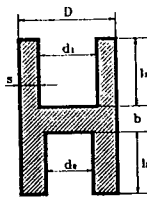


Fig. 4 Dimensions and configuration of billet

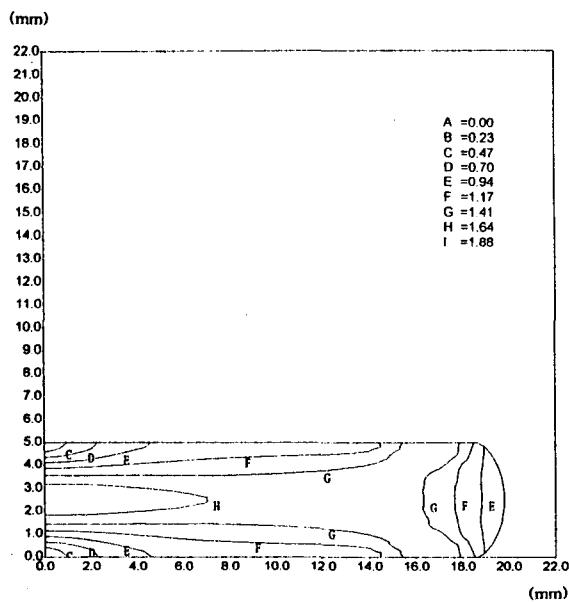


Fig. 6 Effective strain distribution for compression test

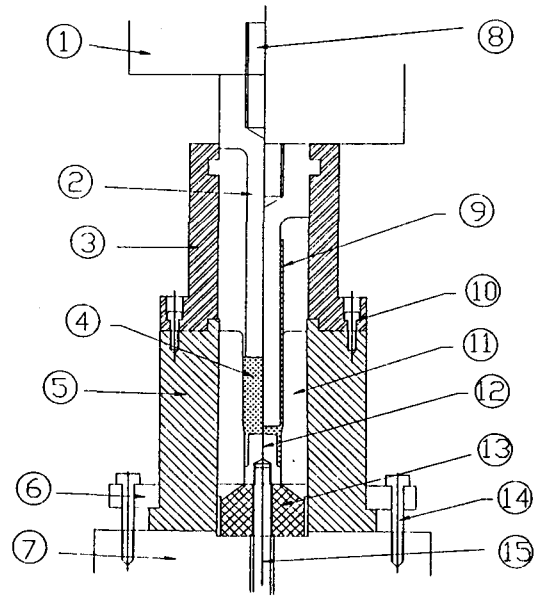


Fig. 3 Structure of die set

- ① ram, ② punch, ③ stripper holder, ④ billet, ⑤ die holder
 ⑥ clamp, ⑦ base plate, ⑧ adjust bolt, ⑨ product, ⑩ bolt,
 ⑪ die, ⑫ knock-out head, ⑬ die plate, ⑭ hex bolt,
 ⑮ knock-out bar

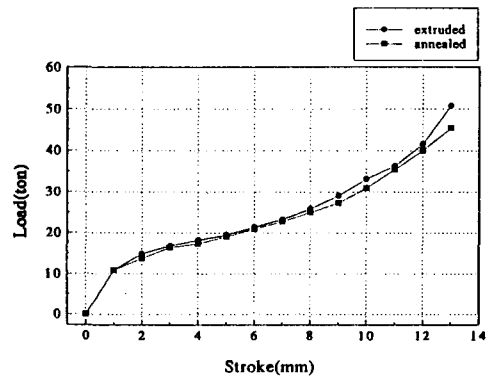


Fig. 5 Graph of load-stroke between extruded and annealed for billet

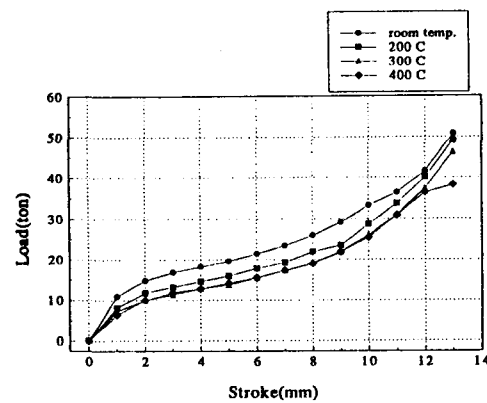


Fig. 7 Graph of load-stroke according to heating condition for billet - room temp., 200°C, 300°C, and 400°C.

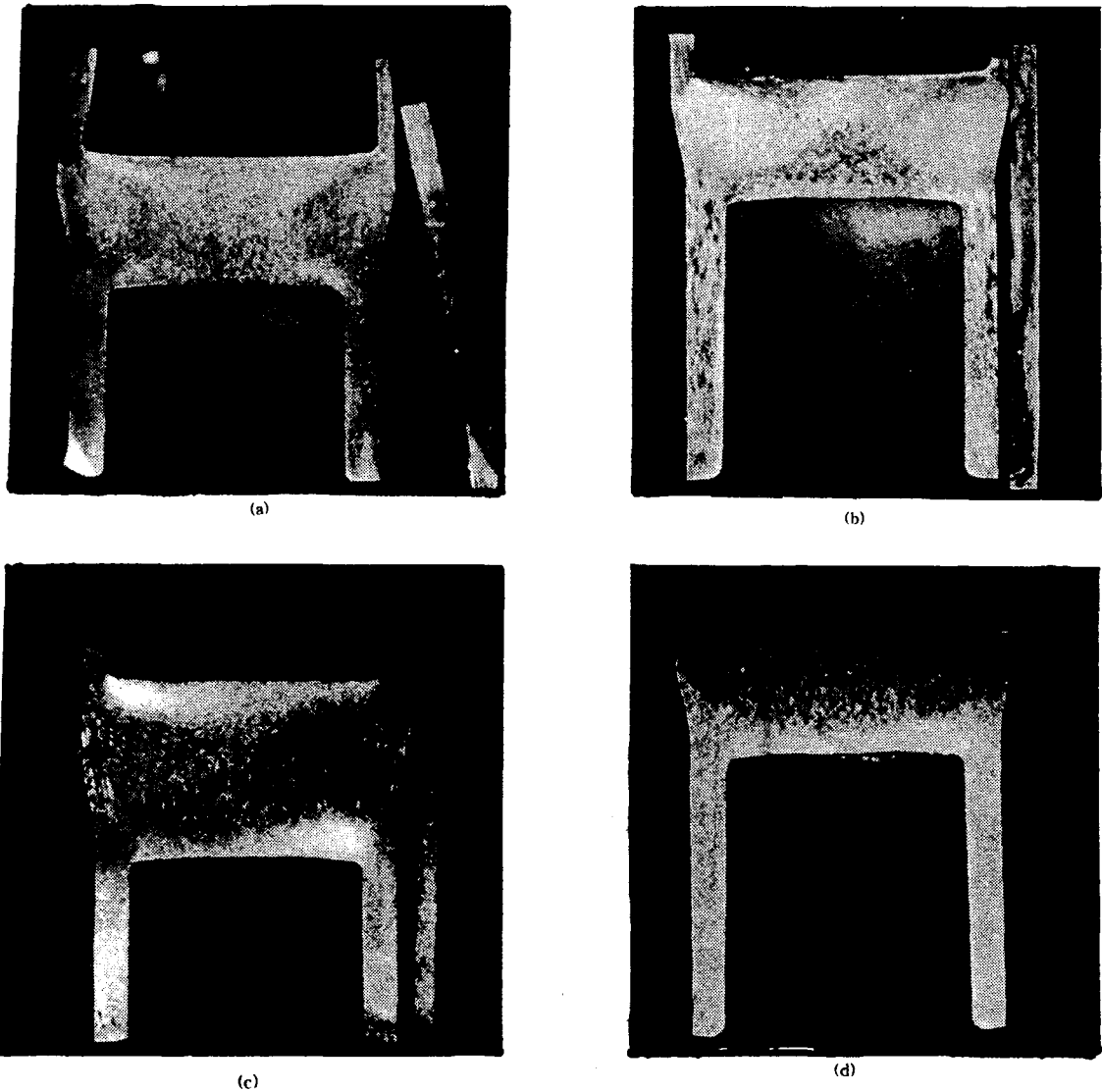


Fig. 8 Macroscopic structure of product according to heating condition (a) hot-1, and (b) hot-2 (c) warm (d) cold

Table 2. Grain size according to heating condition

- grain growth : 100 μm Min., coarse : 50 - 100 μm
fine : 50 μm Max.

Heating condition	Temperature(°C)	Grain size		
		Forward	Bulk-head	Backward
hot - 1	450	grain growth	coarse	grain growth
hot - 2	450	grain growth	coarse	grain growth
warm	300	fine	fine	fine
cold	room temp.	fine	fine	fine

Table 4. Results of compatibility test

Heating condition	Lubricant ^{*1}	Preheating of die ^{*2}	Result ^{*3}		Remarks
			Dimension	Appearance	
300°C x 11hr	G	p : 250°C d : 270°C	P	P	
300°C x 11hr	B	p : 150°C d : 170°C	G	G	
250°C x 11hr	G	p : 130°C d : 160°C	G	P	
250°C x 11hr	B	p : 120°C d : 150°C	E	E	

Note *1 : G - graphite+oil, B - bondertube
*2 : p - punch, d - die
*3 : P - poor, G - good, E - excellent

Table 3. Comparison of hardness(Hv 10kgf) after heat treatment(T4) according to heating condition

point	Hot-1	Hot-2	Warm	Cold	Remarks
1	110.3	110.3	110.3	-	
2	107.7	110.3	107.7	-	
3	110.3	110.3	107.7	-	
4	110.3	107.7	110.3	107.7	
5	110.3	107.7	110.3	105.1	
6	107.7	107.7	107.7	107.7	
7	107.7	102.7	107.7	107.7	
8	107.7	107.7	107.7	-	
9	113.1	107.7	110.3	-	
10	110.3	110.3	110.3	107.7	
11	110.3	110.3	110.3	-	
12	113.1	110.3	107.7	-	
13	110.3	107.7	107.7	105.1	
14	107.7	110.3	110.3	105.1	
15	110.3	107.7	110.3	110.3	

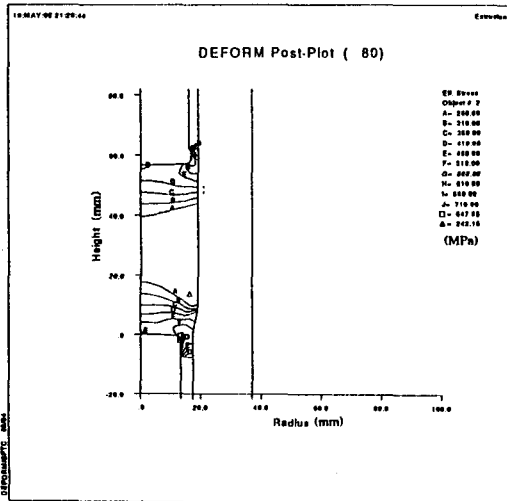
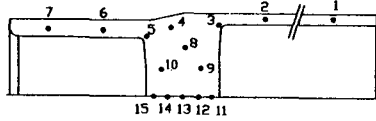


Fig. 10 Effective stress distribution - stroke 5 mm(80step)

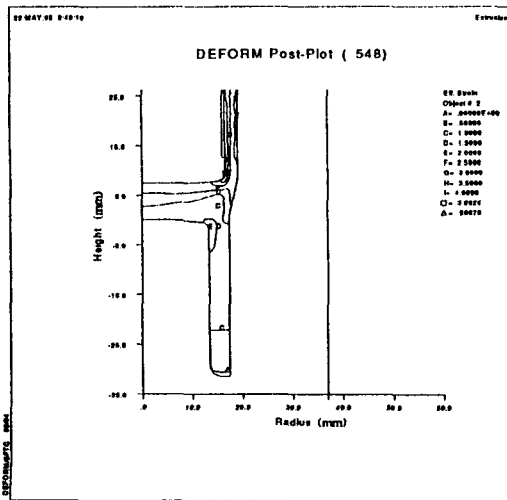


Fig. 12 Effective strain distribution - stroke 54.5 mm(548step)

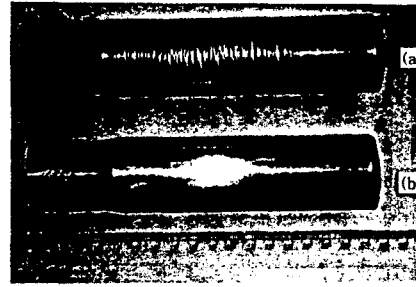


Fig. 9 Effect of lubricants on forming of product (a) graphite + oil, and (b) bond-lube

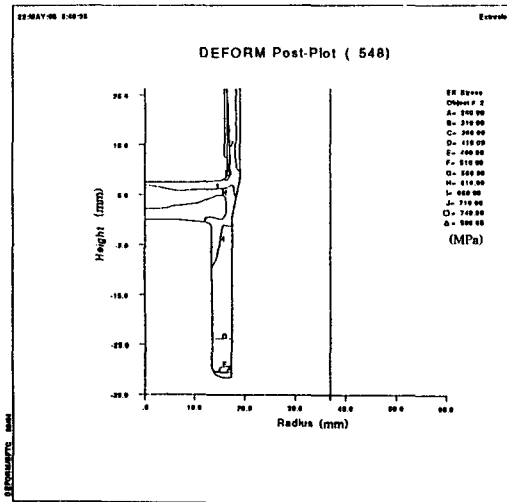


Fig. 11 Effective stress distribution - stroke 54.5 mm(548step)

Table 5. Effect of improvement for process

Terms	Before improvement	After improvement	Effect	Remarks
Productivity (each/day)	100	300	▲200	
Person	18	10	▼8	
Number of machine	15	8	▼7	
Mass of billet(g)	428.0	190.0	▼238.0	
Number of process	16	9	▼7	
Total loss(%)	15.0	10.0	▼5.0	
Quality	Appearance	poor	good	
	Tolerance	poor	good	
	Mech. property	poor	good	