

## 대형 디젤기관용 배기 밸브의 전기 업셋 성형기계 개발

박태인\*(한국기계연구원), 전익효(삼주산업주식회사), 왕지석(한국해양대학교)

### Development of Electric Upset Forming Machine for Exhaust Valves of Large Marine Diesel Engines

T. I. Park\*(KIMM), I. H. Jeon(Sam Joo Indusry Co. Ltd)  
J. S. Wang(Korea Maritime University)

#### 1. 서론

우리 나라는 1970년 후반부터 대형디젤기관의 생산을 시작한 이후 현재는 세계 시장의 점유율이 25~30%를 차지하고 연간 약 300만 마력을 이상을 생산하는 대형선박용 디젤기관 생산 국으로 발전하여왔다.

이와 관련하여 디젤기관의 부품도 많은 부분이 국산화되어 대형기관의 경우 약 90%이상의 국산화가 되었으나 그 중에서도 비교적 단순한 형태이면서도 국산화 전망이 뚜렷하지 않은 부품이 배기 밸브이다. 현재 중소형 선박용 기관의 배기 밸브는 대부분이 국산화되고 있음에도 불구하고 밸브 지름이 200~500mm에 이르는 대형 밸브의 경우는 완제품을 수입하거나 반 가공품을 수입, 마무리 가공하여 사용하고 있는 형편이다. 이는 고품질 밸브를 제작할 수 있는 설계 기술과 전문 생산 기술이 미흡하고, 또한 제품이 비교적 단순하면서도 부가가치가 높고 대량생산이 불가능하며 노동 집약적이고 고도의 개인적인 숙련도가 필요한 부품이기 때문이다.

현재 사용되고 있는 밸브의 수명은 4500~5000 시간 정도로서 최근 디젤기관의 사용 환경의 악화로 현재의 사용 수명을 단축하고 있으며, 더욱이 사용자는 이를 7000~8000 시간 이상의 내구성을 가진 밸브를 요구하고 있어 디젤기관 제작자에게는 이의 개량이 시급한 과제로 대두되었고 이러한 때에 통상산업부의 지원으로 대형배기밸브의 국산화 연구가 수행되어 국산화가 머지않은 단계에 있다.

#### 2. 배기 밸브 기술

선박용 대형 저속 2-행정 싸이클 디젤기관은 이의 고효율화를 기하기 위해 실린더 헤드에 배기 밸브를 갖는 유니플로우(Uniflow) 소기 방식만을 채용하고 있다. 이들 기관은 열효율을 높이기 위하여 고온, 고압의 연소 분위기에서 운전이 되어 배기 밸브는 항상 400℃~600℃ 되는 고온 가스와 접하고 있다. 특히 최근에 사용되는 연료유가 저질화 되어 배기 밸브의 사용 환경은 더욱 가혹하게 되었다. 즉 연료의 저질화로 인하여 화염 온도가 높아지고 동시에 유황 및 알루미늄 등에 의한 분해 촉매 입자의 혼입이 증가해서 침식 마멸이 조장되고 유황과 바나디움의 함유량이 많아져서 연소 가스에 의한 부식 가능성이 한층 높아지게 되었다. 거기에다가 대형 단일 밸브를 사용하므로 밸브 개폐 시의 관성력이 증대하고 이의 충격으로인하여 밸브 시트 페이스(Valve seat face)와 밸브 시트(Seat)의 손상이 발생되기 쉽고 열에 의한 부등팽창이 일어나서 밸브의 다침 상태가 불완전하여 누설에 의한 손상이 촉진된다.

이와 같이 배기 밸브는 가장 손상이 심한 엔진 부품 중의 하나로서 이의 수명 연장은 엔진 제작자에게 있어 최우선 과제로 되어 있다. 특히 배기 밸브의 손상 중에서 밸브의 소손을 방지하고 내구력을 향상시키는 것은 선박용 중대형 디젤기관으로는 중요한 과제이다. 이 소손에 관계되는 인자는 여러 가지로 복잡하게 연관되며, 각 인자의 영향 도는 기관의 형식과 운전 조건에 따라 다르지만 선박용 디젤기관에서 공통으로 가장 중요한 인자는 사용 연료가 조악한 것이다. 이 때문에 이제까지 배기 밸브의 소손에 관한 연구는 연료에 포함된 바나디움, 나트륨 등의 저 융점 화합물에 의한 부착물 및 고온 부식 현상 등의 방향으로 그 관심도가 컸다. 이 원인으로서 밸브 시트 페이스 및 시트에 부착된 연소 잔사 때문에 접촉 전열 저항이 증가해서 밸브 시트를 통한 밸브의 냉각이 악화되고 연소 잔사가 부착되어 생긴 미소 틈 사이에서 나오는 고온 가스에 의해 그 주위가 국부적으로 가열되는 것이다. 즉 배기 밸브의 소손 사고는 기관의 운전조건에 기인하

는 경우와 설계 조건에 기인하는 경우로 대별되고, 세분하면 연소잔사의 부착이 고르지 않고, 부식, 마멸, 침식, 접촉불량, 시트 육성재(肉盛材)가 떨어지는 것 등을 들 수 있다. 이러한 문제점들은 특수 재료의 개발과 설계 구조의 개선 등으로 대응하고 있으나 이는 결과적으로 밸브의 제작을 어렵게 하는 요인이 되고 있다.

그러나 기존의 밸브에 스테인리스 강이나 니켈 크롬 합금 강등의 내열 강을 배기 밸브의 재료로 사용하고 밸브 시트를 스텔라이트 재료로 육성하여 사용하는 경우나 또 밸브의 사용환경이 다르기 때문에 스템부와 헤드부위의 재료를 그 특성에 맞는 재질을 사용하여 마찰 용접하여 사용하는 조합형(Two-piece construction) 등에 자유 단조에 의한 신장 성형(Stretch forming) 제작 공법으로 제작된 밸브로는 사용자가 요구하는 내구 시간을 만족시킬 수가 없다. 따라서 이에 대한 대책으로 조합금 강의 사용과 새로운 밸브의 성형 방법을 도입하여야 할 필요성이 제기되었다.

새로운 밸브성형 공법은 자동차용이나 중형 디젤기관용 밸브에 채택되고 있는 방법이며 국한된 일부 선진 공업국에서 개발된 기술로서 사업적 홍보 자료 외에는 별로 발표되어 있지 않은 기술이다. 이러한 자료의 조사 과정에서 파악된 업셋 성형은 1970년 전후로 발표되기 시작되며 이들도 주로 강피의 업셋 가공에 대한 연구가 주종을 이루고 있다. 본 연구와 같이 전기적 에너지를 이용하여 연속 가열하면서 성형하는 열간 소성 가공과 관련한 연구에 대해서는 발표되고 있지 않다.

그림 2.1은 연소실의 주위의 온도를 나타 내고, 밸브디스크의 중심부가 가장 높고 디스크 내부, 밸브 시트 페이스의 순으로 낮아진다. 금후에도 디젤기관의 열효율 향상, 연료소비율의 절감을 피하기 위해 실린더내 폭발 압력 및 연소 가스의 온도는 계속 높아질 것으로 예측된다. 이러한 기관의 설계 요구에 대처하기 위해, 배기 밸브의 재료, 육성 재료 또는 시공법 등의 기술면에서 연구 개발이 이루어져야 하고, 설계 면에서도 밸브 시트 페이스에서의 온도가 저감되는 방안이 검토되고 개량되어야 한다고 생각된다. 이에 대한 대책으로서 이들 밸브는 고온 강도가 우수하고 부식 손상에 대한 개선이 요구되어 최근에는 밸브시트에 스텔라이트 육성용접이 필요치 않은 니켈 베이스 내열 합금의 일체형 사용이 늘어나고 있고 배기 밸브의 손상이 없는 것으로 발표되고 있다. 또 설계 면에서는 밸브 스템에 회전익 부착에 의한 밸브 시트 페이스 접촉부 주위의 온도 분포 균등화가 시도되었고 밸브 시트를 통한 냉각에 의한 밸브 접촉면의 온도 저하등 배기 밸브의 손상을 경감하는 대책이 개발되어 실용화되고 있다.

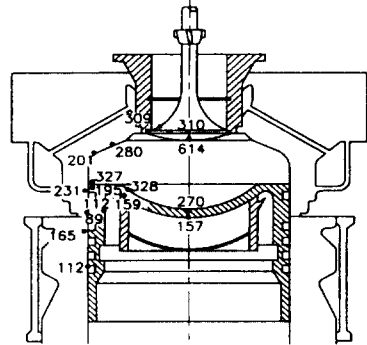


Fig. 2.1 Temperature distributions in combustion chamber

### 3. 배기 밸의 성형공법

대형 밸브의 제작 공정은 업셋 단조 공정, 기계 가공 및 열처리 등의 공정을 거치게 된다. 밸브의 단조 공정은 예비 성형 공정과 최종 단조 공정으로 이루어지는데 예비 성형 공정은 대형 밸브의 경우 현재까지도 Fig. 3.1의 (a)와 같이 잉곳이나 빌릿을 자유 단조하여 스템부가 길게 늘어나게 하는 신장 성형(Stretch forming)법을 주로 사용하고 있으며, 본 연구에서는 중·소형 배기 밸브의 성형에 주로 채용되는 Fig. 3.1의 (b)와 같이 전기에너지를 이용하여 단조 온도까지 가열하는 동시에 소의 힘을 소재에 가하여 연속 업셋 성형하는 열간 소성 가공법으로 대형 배기 밸브의 고품질화를 위해 필요한 새로운 공법이다. 경제적인 면에서 전자의 공법은 많은 양의 기계 가공과 고급 재료의 손실 등이 있어 비경제적이고 또한 재료 내부의 그레인 흐름(Grain flow)이 불안정하고 금속의 미세 조직의 분포가 바람직하지 못하여 고품질의 밸브를 기대하기 어렵다. 그러나 후자의 경우는 가열이 십수초(十數秒)의 짧은 시간에 이뤄지고 성형에 필요한 부분만 가열되므로 열에너지도 전자에 비하여 약 20%정도밖에 소모되지 않고,

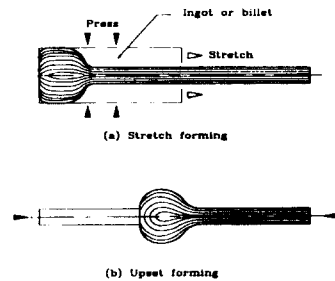


Fig. 3.1 Forming methods for exhaust valves

재료의 그레인 흐름의 연속성이 유지되고 밸브 시트 페이스 부위의 조직이 치밀하게 되어 밸브의 피로, 응력, 부식 등에 대한 기계적 성질이 크게 향상되므로 밸브의 내구성 향상을 위해 소형 자동차용 밸브의 성형 공법으로 개발된 방법이다.

업셋팅은 단조 가공법 중의 하나로 차축이나 내연 기관의 배기 밸브, 볼트나 너트의 머리를 가공할 때 자주 쓰이는 공법이다. 이 가공은 소형의 경우 냉간에서 이루어지기도 하는데, 냉간 가공은 재결정 온도 이하에서 가공하는 방법으로 주로 실온에서 가공한다. 그러나 냉간 가공은 성형 과정에서 필연적으로 수반되는 소성변형에 한계가 있기 때문에 큰 소성변형을 요하는 가공에는 적용할 수가 없다. 이와는 달리 열간 업셋 가공은 재결정 온도 이상에서 이루어지는 가공으로 재료가 풀림 작용으로 연화되어 있으므로 가공하는데 하중이 작게 들고 큰 소성변형을 낼 수 있다. 열간 업셋 가공에서는 적당한 방법으로 소재를 가열하여야 하는데 이 때 열원으로 전기 에너지를 사용하는 경우가 많고 이와 같이 전기 에너지를 사용하여 가열하는 업셋팅 가공을 전기 업셋 가공이라 한다. Fig. 3.2는 전기 업셋 성형 공정을 나타낸다. 이 그림에서 보는 바와 같이 소재를 앤빌(Anvil)과 클램프 전극(Clamp electrode) 사이에 물리고 이 사이에 소재를 통하여 전류를 흘린다. 소재에 전류가 흐르면 소재의 끝부분이 가열되고 소정의 온도에 도달하면 업셋팅 실린더에 유압을 작용시켜 소재를 압축하게 되며 계속 압축하면 재료가 횡으로 유동이 생겨 단면형상이 커지는 원리(Bulging)를 이용 기술로서 최종적으로 양파 모양(Onion shape)이나, 문 손잡이 모양(Door knob shape)으로 성형된다. 필요에 따라 후퇴 실린더(Escape cylinder)의 유량을 적당량 제거하여 앤빌을 후퇴시키므로서 별칭의 크기를 조절한다. 전기 업셋 성형은 강봉의 소성 가공을 위하여 사용되고 있는데 가열과 성형이 동시에 진행되고 좌굴이 일어나지 않으므로 업셋팅 길이를 무한히 길게 할 수 있어 연속적인 단조 작업이 가능하고 별도의 가열로가 필요 없고 가열에 의한 스케일 발생이 적고 성형 부의 체적 계량을 정밀하게 조정할 수 있는 장점이 있다.

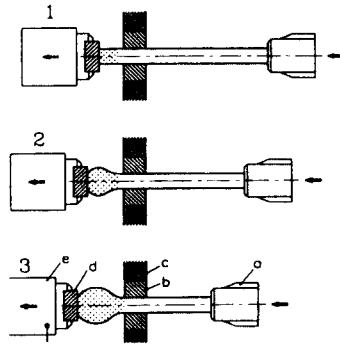


Fig. 3.2 Sequence of upset forming

#### 4. 업셋팅의 원리

업셋팅은 금속 재료의 성형에 중요한 가공 방법 중의 하나이지만 성형 과정중에 발생하는 응력과 변형에 대해서는 아직도 더 연구해야 할 여지가 있다. 이는 과도적인 성형 과정과 앤빌과 가공물 사이의 마찰을 정하는데 어려움이 있기 때문이다. 업셋팅은 과도기적(過渡期的)인 성형 과정으로서, 성형이 진행되고 있는 동안의 소성변형중 재료 흐름의 방향(Stream lines)과 경로(Flow lines)가 일치하지 않는다. 성형 과정중 재료의 형상이 변화하는 모양이나 변형의 분포는 가열 온도나 이때의 변형률 속도보다는 재료와 앤빌간의 마찰에 더 큰 영향을 받는다. 마찰이 크면 클수록 재료의 변형 형상이 커진다.

업셋팅에 소요되는 힘은 소성변형 이론에 의해 가공 소재와 앤빌 사이의 수직응력에 의해 결정된다.

Fig 4.1과 Fig 4.2에서 앤빌과 소재 사이에 쿨롬 마찰(Coulomb friction)이 있을 때 축대칭 업셋팅은 식 (4.1)과 같은 힘의 평형을 이룬다.

$$\sigma_r r l d\theta - (\sigma_r + d\sigma_r)(r + dr)l d\theta + 2\sigma_t \sin\left(\frac{d\theta}{2}\right)l dr - 2\mu\sigma_z r d\theta dr = 0 \quad (4.1)$$

식 (4.1)에서  $\sigma_t = \sigma_r$ 이고, 미분방정식에서 2차 항을 무시하면  $d\theta$ 가 작을 때는  $\sin \frac{d\theta}{2} \approx \frac{d\theta}{2}$  가된다. 따라서 식 (4.1)은

$$\frac{d\sigma_r}{dr} + \frac{2\mu}{l} \sigma_z = 0 \quad (4.2)$$

식(4.2)에서  $\mu$ 는 소재와 금형 사이의 마찰계수이다. Tresca의 항복 조건을 도입하면

$$\sigma_r - \sigma_z = \sigma_f \quad (4.3)$$

따라서 식 (4.2)는

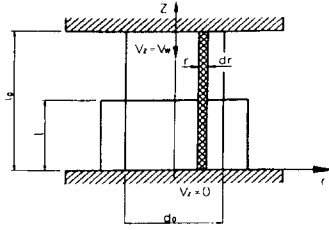


Fig. 4.1 Sketch of upsetting process

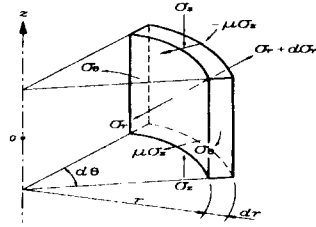


Fig. 4.2 Forces acting on annular volume element for axi-symmetric forming

$$\frac{d\sigma_r}{dr} + \frac{2\mu}{l} \sigma_r = \frac{2\mu}{l} \sigma_f \tag{4.4}$$

이 식은 1차 비선형 미분방정식으로서 그 해는

$$\sigma_r = \exp\left(-\frac{2\mu r}{l}\right) \left[ \sigma_f \exp\left(\frac{2\mu r}{l}\right) + c \right] \tag{4.5}$$

경계 조건에서

$$r = \frac{d}{2} \text{ 일 때 } \sigma_r = 0 \tag{4.6}$$

적분상수는

$$c = -\sigma_f \exp\left(\frac{\mu}{l} d\right) \tag{4.7}$$

따라서 원주 방향의 응력은

$$\sigma_r = -\sigma_f \left\{ \exp\left[\frac{2\mu}{l} \left(\frac{d}{2} - r\right)\right] - 1 \right\} \tag{4.8}$$

Tresca의 항복 조건 식 (4.3)에 의해서 엔빌과 가공 재료간의 계면 압력은

$$\sigma_z = -\sigma_f \exp\left[\frac{2\mu}{l} \left(\frac{d}{2} - r\right)\right] \tag{4.9}$$

지수함수의 급수 전개에서 2번째 항까지를 압력 분포로 나타낸다.

$$\sigma_z = -\sigma_f \left[ 1 + \frac{2\mu}{l} \left(\frac{d}{2} - r\right) \right] \tag{4.10}$$

마찰이 없는 경우에는 식 (4.2)는 다음과 같이 표시되고

$$\frac{d\sigma_r}{dr} = 0 \tag{4.11}$$

$\sigma_r$ 는 일정해진다. 식 (4.6)의 경계 조건과 식 (4.3)의 항복 조건에 의해

$$\sigma_z = \sigma_r - \sigma_f = -\sigma_f \tag{4.12}$$

가 구해지며 이는 식 (4.10)에  $\mu=0$ 으로 대입하여 동일한 결과를 갖게 된다.

따라서 성형에 요하는 힘은 재료의 접촉면의 면적에 작용하는 압력을 적분하면 구해진다.

$$F_z = \int_A \sigma_z dA \tag{4.13}$$

축대 칭인 경우에는 식 (4.10)에서

$$F_z = -A\sigma_r \left(1 + \frac{1}{3} \mu \frac{d}{l}\right) \tag{4.14}$$

마찰계수  $\mu$ 는 윤활, 재료와 앤빌 사이의 접촉 조건과 온도의 함수이다.  
변형 에너지는

$$W = \int_{s=0}^{s=l_0 - l_i} F_z dS \tag{4.15}$$

### 5. 배기 밸브의 재료 특성

배기 밸브는 그 사용 환경상 고온강도가 필요한 것은 물론이고 부식손상에 대한 개선이 요구되어 최근에는 Ni베이스 내열합금의 사용이 늘어나고 있다. 또 개발 엔진에서는 열 부하가 커서 특히 고강도, 고내식재료의 요구가 늘어나고 있다.

대형 디젤기관용 고성능 밸브재료의 개발에 있어서는 Ni베이스 초합금의 NIMONIC 80A의 기본조성을 선정한다. 이는 내고온 산화성이 우수한 니크롬 - 20%Cr-Ni에 강화 원소로서 Ti 2.2% 및 Al 1.2%을 첨가한 대표적인 내열합금으로, Jet engine 및 Gas turbine의 부품으로 사용되어왔다.

나이모닉 합금은 항공기용 가스 터빈의 디스크나 블레이드와 같이 고온 정밀 부품에 사용하기 위하여 개발되었다. 이 재료는 Fig 5.1과 같이 고온에서 인장 강도와 크리프 강도(Creep Strength)가 높고 내식성과 내산화성이 우수하다고 알려져 있으며 특히 내연기관 배기 가스에 대한 내식성은 거의 완벽하다고 할 수 있을 정도이다.

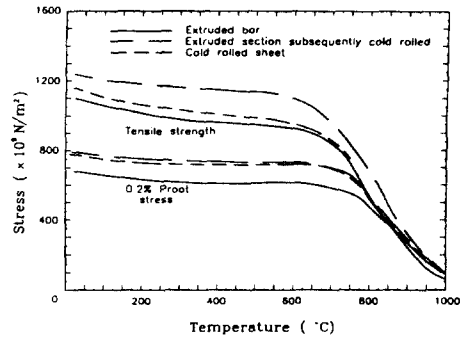


Fig. 5.1 Tensile properties of Nimonic 80A

### 6. 업셋 성형기계설계·제작

#### 6.1 설계개요

본 연구에서 설계·제작된 장비는 밸브의 제작과정중 밸브의 형상을 예비 성형하는 전기저항 가열식 업셋 성형기계이다. 이 장치로 대형디젤기관용 배기 밸브의 예비성형이 가능하려면 밸브 소재의 직경이 25 ~ 110 mm 까지 업셋 성형될 수 있는 가열 능력과 동시에 압축력이 요하고, 공정중 성형형상의 최적조건이 될 수 있도록 주 실린더와 쿠션실린더 등의 속도조절, 제어 등을 위한 제어기능을 가지고 또한 앤빌의 기하학적 형상 및 냉각시스템의 충분한 검토가 요하였다. 본 장치의 주요사양은 다음 표와 같다.

업셋 성형기의 설계사양	
요 목	주 요 사 양
형 식	횡형, 전기저항가열식
최대 가열용량	850 kva
주 실린더	2대
- 가압용량	1,000 KN
- 행 정	1,700 mm
최대가공재료의길이	3,400 mm
피 가공물의 최대직경	90 mm
피 가공물의 최소직경	40 mm
크기(길이×폭×높이)	7,220×1,800×2,150
총중량	24,000kg

6.2 시스템구성

Fig. 6.1 과 같이 밸브의 소재인 환봉이 설치되면 재료의 가공부분이 전기적인 회로가 형성 되어 전기적인 에너지가 전달되며 이때 환봉의 가공부가 소성변형 온도까지 가열되면서 축방향으로 힘이 가해져 연속적으로 소요의 형상으로 성형이 된다. 사용재료의 특성, 규격, 전기적 에너지량, 주 실린더의 가압속도, 앤빌의 후퇴속도, 앤빌 지지대의 냉각 및 기타 파라미터에 의해 성형조건이 결정된다. 본 장비의 시스템은 가압장치, 전기가열장치, 유압장치, 앤빌, 전극, 냉각장치 등으로 구성된다.

6.3 기계 장치

본 장치는 Fig. 6.2에서와 같이 기계의 본체는 횡형으로 견고하게 충분한 강도를 갖도록 설계된 강재 용접 구조물에 2개의 주 유압 실린더가 우측에 상하 횡 방향으로 배치되고 이의 중앙에 압축봉이 중심선과 연하여 설치 되어 성형가공시 재료를 횡으로 힘을 가해 주는 역할을 한다. 좌측 단의 실린더에는 물 자켓과 앤빌이 설치되어 성형 가공시 성형 형상에 따라 쿠션과 전극 역할을 하고, 본체 중앙부에는 2 개의 클램핑 실린더가 상하 수직 대칭 방향으로 배치되어 각각 그 일단에 전극이 취부된 기계 시스템이다. 전극은 황동제 원형 단면봉을 파지 하면서

미끄러질 수 있도록 길이 방향으로 원형 단면봉의 직경에 맞추어 가공되었다. 주 유압 실린더는 기계 구조물의 상하 단에 위치한 가이드 레일에 의해서 지지되어 있으며 직진 성을 유지하기 위해서 편심도가 1/100mm이내의 정도로 조정될 수 있는 구조로 설계되어 있다.

각 요소부재는 최대하중 조건에서의 응력 계산으로 충분한 강도를 가지는 구조로 설계되었다.

업셋팅에 필요한 힘은 다음(4.14)식으로 계산되었다.

$$F_z = -A\sigma_f \left(1 + \frac{1}{3} \mu \frac{d}{l}\right)$$

- 여기서  $F_z$  : 축방향의 힘[kg]
- $A$  : 면적 $cm^2$
- $\sigma_f$  : 마찰응력 $[\mu \sigma_c]$
- $\mu$  : 마찰계수
- $d$  : 소재의 직경[mm]
- $l$  : 가공부의 길이[mm]

여기서 마찰계수  $\mu$ 는 윤환, 재료와 앤빌사이의 접촉조건과 온도의 함수이다.

6.4 전기 가열장치

단조공정에서 가열은 금속의 유동응력이 적어짐으로 이의 성형에 필요한 힘과 일의 량을 줄일 수 있기 때문에 사용된다.

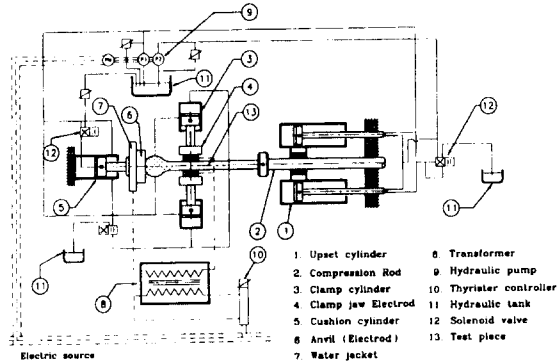


Fig. 6.1 System diagram of upset machine

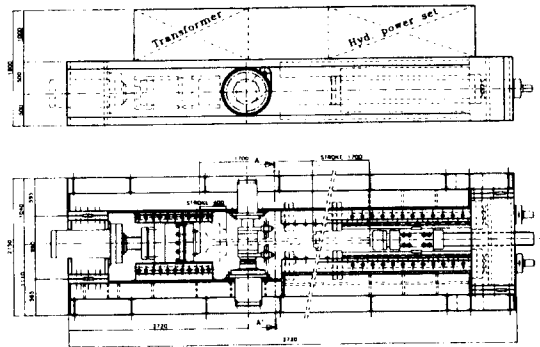


Fig. 6.2 Layout of upset machine

본 연구에서는 에너지 소모율이 적고 장치의 제작비가 저렴한 전기저항가열 방식을 택하였다. 전기저항 가열은 강봉이 실온에서 767℃(Curie point)까지 가열되면 전류는 표면효과 때문에 표면에서 내부 층으로 흐른다. 따라서 이 층은 강봉의 중심부 보다 높으며 열전도에 의해 내부 쪽으로 가열이 된다. 이때 온도가 767℃이상이 되면 전류는 강봉의 모든 단면에 균등하게 분포된다. 복사열에 의한 손실이 증가하면서 열의 흐름의 현상은 반대로 강봉의 표면의 온도가 내려간다. 가열에 필요한 동력은 다음 식으로 산정된다.

$$P = \frac{c \cdot d \cdot V \cdot \theta}{\eta \cdot t \times 10} \tag{6.1}$$

여기서, c : 비열[kcal/kg · deg]  
 d : 밀도[kg/m<sup>3</sup>]  
 V : 체적[m<sup>3</sup>]  
 θ : 온도[deg]  
 t : 시간[sec]  
 η : 효율

본 장치는 가열온도를 정확하게 제어가 가능한 전기저항 가열장치에 의한 전기적 에너지를 이용한 가열 방법을 채택하였다. 가공재료는 변압기의 2차측에 전기적으로 직접접촉하고 전류의 흐름은 재료의 접촉점에서 축방향으로 흐르게 되어 높은 저항 특성을 가진 강재 시편에 급히 가열 되도록 설계 되어 있다.

본 가열장치는 피가공물의 소성가공온도가 약 1250℃까지 가열 가능한 장치로서 전압조절은 싸이리스터에 의하여 제어되며 그 주요사양은 다음과 같다.

요 목	사 양
변 압 기	수냉각식 특수변압기
전 압	약 4 - 8 Volt
최대용량	850 KVA
상용용량	800 KVA
전압조정	Thrister

### 6.5 유압장치

유압장치는 성형온도 변화와 함께 주 실린더 와 쿠션실린더가 연동이 잘되도록 유압유의 유량을 제어가 가능하도록 유압회로가 설계되어 있으며 주요사양은 다음과 같다.

요 목	사 양
주 유압 실린더	2대
- 경 x 행정	250mm x 1700mm
- 피스톤 램경	160 mm
유압유의 압력	최대 220 kg/cm <sup>2</sup>
쿠션실린더	1대
크램프실린더	2대 (상하대칭)
펌프장치	2대(각 250bar, 160bar)

### 6.6 앤빌 과 크램프 조(Clamp Jaw)

앤빌과 크램프 조는 모두 전극역활을 하며 밸브의 성형형상에 중요한 역할을 하는 부분이다. 특히 앤빌에 사용되는 재료는 열전도율이 적고 전기적으로 도전성이 양호하고 피가공물에 비하여 고온강도가 우수한 공구강을 사용하였다. 또한 앤빌의 기하학적 형상은 환봉과 앤빌사이의 접촉 저항과 마찰특성에 영향을 주는 중요 인자로서 또 성형 과정에서 앤빌의 온도변화는 피가공 소재의 성형형상과 재료의 내부응력 변화에도 큰 영향을 준다. 앤빌의 후진 속도는 성형물의 주름을 생성에 크게 좌우하는 인자이다.

크램프조는 가공소재에 전기적 에너지를 전달하는 전극역활과 환봉을 파지 하면서 슬라이딩하

는 기능을 가지고 있어야 되므로 전극 메탈은 소재와의 접촉이 양호하게 이루어지도록 설계 되었다.

6.7 성형기 시제품

본 연구에서 설계·제작된 벨브업셋성형기의 시제품의 주요 사양은 아래 표와 같으며 현재국내 외에서 생산되는 대형선박용배기밸브를 성형할 수 있는 능력을 가지고 있고 그 모양은 Photo 6.1과 같다.

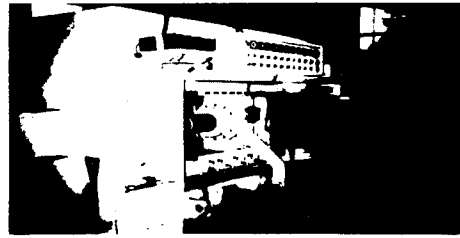


Photo 6.1 Electric upset machine

7. 성형에 관한 실험적 해석

7.1 실험조건

실험과 관련된 인자는 가열 전류, 앤빌의 후진속도, 앤빌 플레이트의 냉각 및 기타등에 의한 다. 실험용 강봉의 재료는 산화성 과 고온 항복강도가 우수한 초합금인 Nimonic 80A가 사용 되었다. 또한 실험에 사용된 강봉은 전극 크래프와 접촉하는 길이 방향의 원주면은 매끄럽게 가공 되고 앤빌과 접촉하는 봉재의 면도 가공된 것으로 봉재 절단 부의 모서리 부분의 흠집을 막기 위해 모따기를 한다. 그 길이는 벨브성형에 충분한 길이로 한다. 벨브의 최적 성형을 위해서는 앤빌의 온도가 중요한 인자로서 성형 가공 전에 약 400℃ 정도로 예열된 상태에서 실험이 수행된다.

7.2 실험 측정장치

실험장치는 Fig. 7.1과 같으며 성형상태의 시간에 대한 변화형상을 관찰하기 위하여 사용된 화상처리장치는 삼성전자 제품인 SV-H33 하이밴드 비디오 카메라를 이용하여 그 성형 형상의 변화를 기록하여 IBM-PC486 컴퓨터에 내장된 두인전자 vision 보드를 사용하여 성형 화상에 대한 현상을 검토하도록 하였다. 업셋가공 성형 부의 온도는 비접촉식 Infrared 온도계를 사용하였고 성형속도를 나타내는 주 실린더와 쿠션 실린더의 속도는 별도로 고안된 접촉식 로차리 엔코더를 사용하여 각의 속도를 계측하였다. 주 실린더와 쿠션실린더에 압력 센서를 설치하여 성형시의 압력을 계측하고 가열장치의 전류는 홀크메터를 사용 하였다.

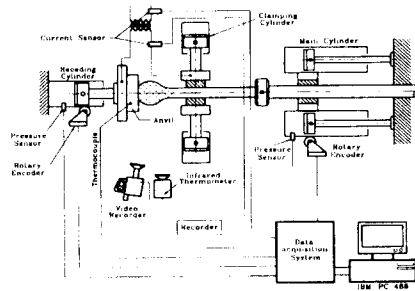


Fig. 7.1 Schematic diagram of experimental setup

7.3 실험 및 실험방법

실험소재는 최근 실제 벨브에 사용되는 나이모닉 80A강봉으로 직경이 27mm 이고 Table 7.1 및 Table 7.2와 같은 성상을 가진 재료를 사용 하였고 앤빌형상은 평면형과 집시형을 사용하여 각각 그 성형 과정을 화상처리로 기록하고, 이때 가열전류, 주 실린더와 앤빌의 후진속도, 앤빌 지지 판의 냉각 등을 관찰하였다.

Table 7.1 Physical properties of material

Properties	Unit	Values
Density	Kg/cm <sup>3</sup>	8190
Thermal conductivity	W/(m K)	11.18
Specific heat	J/(kg K)	448
electrical resistivity	Ω · m	124 × 10 <sup>-4</sup>
Elasticity	N/m <sup>2</sup>	183 × 10 <sup>9</sup>

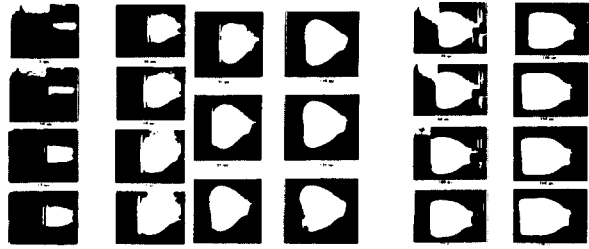
Table 7.2 Chemical composition of materials

Material	C	Si	Mn	Cr	Ni	Ti	Al	Fe
Nimonic 80A (Unit:wt%)	0.06	0.02	0.01	20.0	Bal	2.4	1.2	2.0



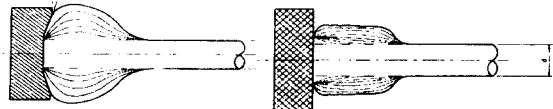
8. 실험결과 및 고찰

Fig. 8.1은 소재의 성형공정중 화상을 나타내며, 그 (a)는 접시형 앤빌을 사용한 경우의 화상으로서 각 시간 스텝별 변화하는 형상을 볼 수 있으며 통전후 약 5초 지나면 성형부가 소성 유동이 가능한 온도로 도달되고 그 온도가 유지되면서 계속 해서 소기의 형상으로 성형된다. 이때의 최종 형상은 양파형이라 하며 Fig. 8.2의 (a)와 같이 이는 처음 소성변형이 시작되는 순간 앤빌과 소재가 접촉시 앤빌의 형상 때문에 이의 원주 방향의 마찰이 고착되어 생기는 현상으로 그레인의 연속성 및 미세 조직을 검토하면 가장 바람직한 공법이다. 한편 Fig. 8.1(b)는 평 앤빌을 사용한 경우의 성형 형상으로 최종 형상은 문틀 손잡이 모양 같은 모양을 보여주고 있으며 이는 앤빌과 소재의 접촉 시에 원주방향의 마찰로 인하여 초기 소성변형이 시작되면서 어느정도 원주 방향의 변형이 발전된 후에 (Fig. 8.2 (b)참조) 고착현상이 관찰되었다. 이러한 경우 밸브의 페이스면에 해당되는 부분의 미세조직은 불순물(앤빌과 소재사이의 산화물)이 용착된 현상이 보이며 이는 밸브의 내구성에 문제가 생길수 있다.



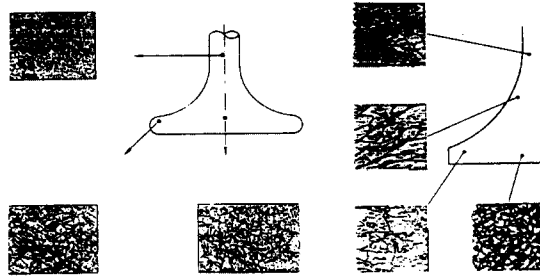
(a) Dish shaped anvil (b) Flat anvil

Fig. 8.1 Images of valve preforming process



(a) Onion shaped (b) Door knob shaped

Fig. 8.2 Development of grain lines



(a)Stretch forming (b)Upset forming

Photo 8.1 Optical micrographs and grain sizes

Photo 8.1은 성형후 밸브의 단면에 대하여 신장 성형한 밸브와 전기 가열 업셋성형한 결과에 대한 마이크로 조직을 나타내며, 여기서(a)의 경우는 신장성형한 밸브의 미세조직을 나타내며 성형 특성상 스프링 부위의 조직이 시트 부위의 조직보다 더 미세한 현상을 볼수 있다. 한편 그림(b)의 경우는 전자 와는 반대 현상으로 급속 미세조직상 우수하나 페이스 부위의 조직 경계면 거칠게 나타나는 현상은 앤빌의 영향으로 쉽게 개선 될 수 있는 사항이다.

9. 결론

서론에서 언급한바와 같이 대형디젤기관용 배기 밸브는 연료유의 저질화와 밸브의 대형화에 따라 사용환경이 더욱 악화되고 있어 이에 대한 대비로 내구수명이 우수한 배기 밸브의 개발보급이 요구되고 있다. 이를 위해 본 연구에서는 전기저항가열과 동시에 연속 성형 가공법에 의한 열간 소성가공법인 새로운 밸브 성형 공법의 도입과 밸브 재료로서 초합금을 사용하여 고온부식에 대한 대비와 고온에서의 기계적 성능을 향상시키고 이에 따른 성형기술을 개발하여 얻은 결과는 다음과 같다.

1) 개발된 성형기계의 실험을 통해서 성형 공정중 변형 형상에 영향을 미치는 파라미터는 다음과 같으며 각각의 영향을 파악하였다.

- 앤빌의 기하학적 형상
- 소재의 크기에 따르는 가열전류량
- 업셋 속도와 앤빌의 후퇴속도
- 각각의 파라미터를 제어 조정하므로써 소기의 형상으로 성형

2) 개발된 업셋 성형기계는 실험을 통해서 대형 디젤기관용 밸브의 예비성형에 적합한 기계로 검증이 되었으며 기계의 전체적인 성능도 확인 되어 금후 동 기계를 활용하여 실제 대형 선박용 배기 밸브의 제작공정에서 사용할 수 있다는 결론을 얻었다.

3) 동 성형기에서 예비성형 되어 제작된 밸브재료의 금속조직이 밸브시이트페이스 부위에서 치밀하고 Grain flow도 연속성이 유지되는 것을 평가하면 고품질의 밸브제작이 가능하다는 결론을 얻었다.

4) 위 를 종합하면 현재 외국에서 생산되는 신장성형 생산하는 밸브보다는 업셋 성형한 밸브의 품질이 우수하여 반영구적으로 사용 될 수 있어 선박 운항의 경제성 제고와 또 생산공정의 간소화 및 생산 공정에서 사용하는 에너지도 신장성형법 보다는 70%이상 절감 할 수 있어 금후에는 본 연구에서 개발된 성형공법으로 제작된 반영구적인 배기밸브의 공급이 가능해질 것이다.

[주] 본 연구는 통상산업부의 공업기반 기술개발과제로 1993년도 부터 2년 6월간 참여기업인 삼주산업주식회사와 공동으로 수행한 결과이다.

#### 참 고 문 헌,

- [1] 박태인 외, 대형디젤기관용 배기밸브개발(1), 한국기계연구원, 연구보고서(1993)
- [2] 日本船舶機關學會 材料強度研究委員會, 排氣弁の動向と製造面からみた問題点, 日本船舶機關學會誌, 第18卷, 第10號, pp778-794(1983)
- [3] 綾部久文, 野村 寛, 排氣弁と燃料噴射弁の 耐久性, 日本船舶機關學會誌, 第12卷, 第4號, pp265-289(1977)
- [4] Eiichi Obata, Present Situation of Heat Resisting Alloys for Marine Diesel Engine Valves, 電氣製鋼, 第54卷, 第4號, pp238-245,(1983)
- [5] Moatki Imamura, DS Alloy 80A Valves for Marine Engines, 電氣製鋼, 第 5卷, 第4號, pp297-302(1983)
- [6] Alexandwe Mendelson, PLASTICITY: Theory and Application, The Macmillan Company, New York,1970.
- [7] R. A. C. Slater, Engineering Plasticity, Theory and Application to metal Forming Process, The Macmillan Press Ltd, London 1978.
- [8] Kurt Lunge, Handbook of Metal Forming, McGraw-Hill book Company
- [9] C.H. Lee, T. Altan, Influence of Flow Stress and Friction Upon Metal Flow in Upset Forging of Ring and Cylinders, Journal of Engineering for Industry, Transaction of the ASME, pp775-782(1972)
- [10] S. S. RAO, The Finite Element Method in Engineering, Pergamon Press, 1989
- [11] 박치용, 조종래, 양동열, 김동진, 박일수, 대형강괴 업셋탕공정의 기공압착해석, 대한기계학회 논문집, 제16권, 제10호, pp1877-1889(1992)
- [12] C. R. Boer and G. Schroder, Heat Transfer During Hot Upsetting in Heated Dies, Brown Boveri Research Center, CH-5405 Baden-Dattwil, Switzerland, pp209-215
- [13] Mohamed I. Ismail, Direct Resistance Heating of Steel Bars, Arch. Eisenhüttenwes, 50, pp.311-315(1979)
- [14] Perowne, Developments in direct resistance heating, Metals and Materials, pp535-538(1985)
- [15] W. Betteridge and J. Heslop, The Nimonic Alloys, 50[Arnold],(1974)