

## 엘터네이터 로터폴의 단조가공에서 공정개선과 금형제작에 관한 연구

(A Study on the Manufacturing of Die and Improvement of Process in Forging Work of Alternator Rotor Pole)

김세환(천안공업전문대학), 김엽래(경민전문대학), 유현일(국민대학교)

### Abstract

Furthermore the rotor pole, with a solid type, manufactured by cold forging process at present should employ 3 press lines which consist of total 7 processes. Since A.S.B. treatment is prerequisite for the press line, the 3 times of A.S.B. treatment requires a long lead time, with little contribution to the reduction in cost.

The author has investigated, through this research, the possibility of a new forging method for a rotor pole production with (1) 2 pass instead of 3 press lines (2) only one A.S.B. treatment instead of 3 ones (3) solid type instead of sectional type, and (4) improvement of material property during process using a modified forging process and a specially designed die.

Key Words : billet(slug, 소재), bonderizing(윤활처리), lateral extrusion(측방압출), shrinkage ring(보강링)

### 1. 서론

#### 1.1 연구의 대상

승용차의 엘터네이터(alternator, alternating current generator A.C generator) 부품으로 사용되는 로터폴(rotor pole)을 鍛造加工으로 成形할 때는 熱間鍛造나 冷間鍛造 加工에 의하여 이루어지고 있다.

열간단조에 의하여 성형할 때는 誘導電氣加熱爐로 素材를 1100~1250℃로 가열하기 때문에 鍛造材는 낮은 變形抵抗을 가지고 있음에도 불구하고 플래시의 생성으로 인하여 큰 하중(1600톤급 프레스)을 부과할 수 있는 프레스가 요구되며 단조 과정에서 酸化스케일 발생에 따른 디스케일 방법 및 金型壽命의 단축, 後處理등으로 제조비가 비싸고 제품의 정밀도가 저하된다.

그래서 산화스케일 발생을 억제하며 후처리를 줄일 수 있고 금형수명 연장 및 제품의 정밀도를 높이기 위하여 냉간단조가공으로 단조방법을 바꾸었다. 그러나 로터폴의 소재인 슬러그(slug, billet)<sup>(1-4)</sup> 형상에서 냉간단조 成形限界(formign limit)<sup>(5,6)</sup>를 훨씬 벗어나고 이에 따른 냉간단조용 금형에서의 문제점을 해결하지 못하므로 로터폴을 一體形의 구조가 아닌 分割形으로 부품을 2개로 나누어 각각 제작한 뒤 조립하는 방법으로 제조하였다. 이 방법으로 제조된 로터폴은 사용도중 조립부위의 슬립과 코일철손 등의 불량현상 발생 및 생산속도의 지연과 제작비의 과대 등으로 인하여 적합한 방법이 되지 못하므로 1990년초부터 소재를 後處理하여 성형한계 범위에서 냉간단조 공정에 따른 금형을 개발하게 되어 1체형의 구조로 된 로터폴을 성형 제작하기에 이르렀다. 1체형으로 된 로터폴을 냉간단조 가공에 의하여 성형할 때 사용되는 프레스는 모두 3대이다. 즉, 제1호기에 의한 트랜스퍼 냉간단조용 너클프레스(1000톤) 1대, 제2호기에 의한 트랜스퍼 냉간단조용 너클프레스(1600톤) 1대, 제3호기에 의한 트랜스퍼 냉간단조용 너클프레스(1000톤) 1대로써 3패스 라인을 거쳐게 되어 3대를 사용한 다. 그리고 라인별 前處理工程으로 A.S.B(full annealing, shot blasting and bonderizing) 처리를 필요로 한다.

이러한 과정과 프레스를 사용하여 로터폴을 냉간단조로 성형완료 하려면 7공정을 거쳐게 된다. 특히 7공정중에는 3공정의 프레스라인이 있는데 라인에 들어갈 때마다 반드시 前處理

로 A.S.B 처리를 해야 하므로 3회의 A.S.B공정이 필요하게 되어 작업시간의 과대와 시설규모의 증대등으로 제조원가 절감에 공헌하지 못하고 있으므로 이를 해결하기 위하여 연구의 對象으로 하였다.

#### 1.2 연구의 목적

本 研究에서는 앞에서 제시한 문제점을 다음과 같이 해소하기로 하였다.

- 즉, (1) 3패스의 프레스 라인을 2패스 라인으로,
- (2) 3회의 A.S.B 처리를 1회만 실시,
- (3) 분할형을 1체형 구조로,
- (4) 단조후 소재의 재질개선 확인,

의 효과를 얻을 수 있는 로터폴을 성형 완료할 수 있도록 鍛造工程을 개선하여 제조원가 절감과 품질향상 및 생산력 증가를 목적으로 단조금형을 설계 제작하고자 하였다.

지금까지 7공정으로 로터폴을 성형할 때는 7공정중 프레스에 의한 냉간단조 가공은 鍛造前 소재에 어닐링을 하고 있다.

어닐링할 때의 온도는 약800~900℃이며 어닐링후 S.B처리 공정을 거쳐 제1패스 냉간단조 가공으로 넘어간다. 그런데 어닐링 온도 800~900℃는 溫間鍛造의 溫度域<sup>(5,7,8)</sup>이므로 가열후 냉각시키지 않고 그 상태에서 온간단조 가공을 하면 A.S.B 처리공정을 생략할 수 있을 것이고, 냉간단조 성형한계와 관계없이 성형이 가능할 것이라는 假定下에 鍛造工程 改善設定과 이에 따른 금형을 설계 제작하여 다음과 같이 試圖(trial)하였다. 지름 50mm, 길이 76mm의 슬러그(빌릿)를 유도전기가열로 800℃정도 가열하여 트랜스퍼 온간단조 금형위에 낙하시켜 제1스테이지에서 업세팅(이때 소재의 온도 700℃)하고 제2스테이지로 옮겨 측방압출(이때 소재의 온도 750℃)가공을 하였다. 니 마치 다리가 6개 있는 불가사리 모양으로 균열없이 납작하게 성형되었다. 이렇게 성형된 半製品을 냉간단조 가공하기 위하여 前處理로 S.B처리를 한 뒤 프레스로 커핑가공과 급회가공을 하였더니 성공적으로 완성하게 되어 종래의 7공정(프레스 3대 사용 포함)으로 가공 완료할 수 있었던 로터폴을 5공정(프레스 2대 사용 포함)으로 성형 완료되는 실험 결과를 얻게 되어 수입대체효과 및 省力化는 물론 소재의 재질 개선, 품질 향상, 제조원가 절감을 하게 되었다.

## 2. 로터폴의 鍛造工程動向과 문제점 도출

문헌이나 산업현장의 작업 결과에 의하면 열간단조나 온간단조로 성형된 제품은 냉간단조에 비하여 좋은 정밀도를 얻지 못하면서 금형수명이 짧은 것으로 되어 있다. (3,4,7-10,14,15,19) 그러나 소재에 대한 낮은 변형저항을 얻고 재질개선 효과(22,23) 때문에 열간단조를 이용하기도 한다. 로터폴을 단조가공에 의하여 제작할 때는 전술한 바와 같이 열간단조나 냉간단조 가공을 이용한다. 이러한 단조공정중에서 본 실험에 사용될 로터폴의 단조공정은 대략 다음과 같은 3종류의 방법이 채용되고 있다.

### 2.1 鍛造工程 動向

#### 2.1.1 第1方法의 冷間鍛造工程

첫번째 방법이라 할 수 있는 냉간단조 공정은 로터폴의 구조물 몸체와 코어로 분할하여 몸체는 철판(SM10C, 두께 11.5mm)을 블랭킹한 뒤 블랭크를 A.S.B 처리하고 냉간단조 가공으로 성형을 완료한다.

- (1). 제1공정 : 철판 블랭킹(sheet steel blanking)
- (2). 제2공정 : 前處理(A.S.B 처리)
- (3). 제3공정 : 벤딩(bending) 및 압출(extrusion)
- (4). 제4공정 : 피어싱(piercing)
- (5). 제5공정 : 사이징(sizing)
- (6). 제6공정 : 리스트라이킹(restriking)
- (7). 제7공정 : 코어(core)의 선반가공
- (8). 제8공정 : 몸체와 코어의 조립접합(joining)

#### 2.1.2 第2方法의 熱間鍛造와 冷間鍛造工程

두번째 방법인 열간단조후 냉간단조 공정은 철판을 사용하지 않고  $\phi 50\text{mm}$  환봉을 절단하여  $1100^\circ\text{C}$  이상으로 가열한 뒤 열간단조 가공과 마무리 공정으로서 냉간단조 가공으로一體形의 구조로된 로터폴을 다음과 같이 작업을 완료한다.

- (1). 제1공정 : 소재커팅(bar cutting)
- (2). 제2공정 : 소재가열( $1100^\circ\text{C}$  이상)
- (3). 제3공정 : 제1패스(1st pass) 트랜스퍼 열간단조공정 (transfer hot forging process)
  - ① 제1스테이지 : 1차 예비단조(preforging)
  - ② 제2스테이지 : 2차 예비단조(preforging)
  - ③ 제3스테이지 : 마무리 단조(pinish forging)
  - ④ 제4스테이지 : 트리밍(trimming)과 피어싱(piercing)

#### 2.1.3 第3方法의 冷間鍛造工程

세번째 방법인 냉간단조 공정은 제2방법과 동일하게 철판을 사용하지 않고  $\phi 50\text{mm}$  환봉을 절단하여 前處理工程으로 3회의 A.S.B 처리와 3라인의 프레스 공정등 모두 7공정을 거쳐一體形의 구조로된 로터폴을 다음의 공정으로 작업을 완료한다.

- (1). 제1공정 : 소재커팅(bar cutting)
- (2). 제2공정 : 鍛造前 A.S.B 처리
- (3). 제3공정 : 제1패스(1st pass) 트랜스퍼 냉간단조공정 (transfer cold forging process)
  - ① 제1스테이지 : 자유단조(free forging)
  - ② 제2스테이지 : 업세팅(upsetting)
- (4). 제4공정 : 鍛造前 A.S.B 처리
- (5). 제5공정 : 제2패스(2nd pass) 트랜스퍼 냉간단조공정 (transfer cold forging process)

- ① 제1스테이지 : 전방압출(forward extrusion)
- ② 제2스테이지 : 측방압출(lateral extrusion)
- ③ 제3스테이지 : 트리밍(trimming)과 피어싱(piercing)

(6). 제6공정 : 鍛造前 A.S.B 처리

(7). 제7공정 : 제3패스(3rd pass) 트랜스퍼 냉간단조공정 (transfer cold forging process)

- ① 제1스테이지 : 벤딩(bending)
- ② 제2스테이지 : 마무리단조(finish forging)
- ③ 제3스테이지 : 사이징(sizing)

### 2.2 問題點 導出

#### 2.2.1 第1方法에서의 問題點

제1방법은 로터폴 제작과정과 앨터네이터 작동중에 다음과 같은 문제점이 발생되고 있다.

1) 로터폴의 제작과정에서의 문제점

- ① 코어제작은 선반가공에 의존하여야 하므로 생산속도가 늦고 외주가공비가 높다.
- ② 철판두께 11.5mm 이상을 블랭킹하므로 600톤 이상의 기계 프레스가 필요하고 스탬핑시에 소음과 진동이 크다.
- ③ 버(burr)제거 및 냉간단조 가공을 위하여 前處理로 A.S.B 처리를 실시하므로 제조비 상승이 된다.
- ④ 금형에서 다이블록 上面과 다이角반지름 부위 및 內側面에 녹아붙음(seizer)현상과 磨滅 및 찰과흔이 발생되므로 수시로 금형을 보수 정비하게 되어 작업 지연을 초래하고 있다.
- ⑤ 벤딩과 押出加工은 250톤 이상의 油壓프레스를 사용해야하므로 기계사용료가 차지하는 비용이 크다.
- ⑥ 싱글타입 금형이므로 금형6벌, 프레스 6대, 작업자 6명을 필요로 하며 코어는 선반가공으로 하게 되어 省力化에 역행하고 있다.

2) 앨터네이터 작동시의 문제점

- ① 分割形의 로터폴은 접합시 센터링 어긋남이 있을 수 있으므로 밸런스가 맞지 않아 앨터네이터 작동시 편심과 진동으로 인한 전류의 합선으로 코일이 연소된다.
- ② 接合部位의 슬립과 코일 절손으로 앨터네이터의 작동 불능과 이에 따른 주변기기인 마그네토까지 그 영향이 미친다.
- ③ 앨터네이터의 信賴性이 저하된다.

#### 2.2.2 第2方法에서의 問題點

- ① 열간단조 가공시 로터폴 표면에 떨어진 산화스케일이 압착되어 잔존하여 앨터네이터가 작동할 때 분리되어 전기 합선을 일으켜 작동 불능이 된다.
- ② 열간단조이므로 낮은 變形抵抗을 가지고 있음에도 불구하고 플래시 생성으로 인하여 프레스의 하중을 크게 부과하게 된다.
- ③ 潤滑油를 사용하므로 금형 주위와 프레스 볼스터 주변이 매우 불결하다.
- ④ 마무리 가공은 싱글타입의 냉간단조 사이징 가공으로 완료되므로 공수 절감을 할 수 없다.
- ⑤ 완벽한 디스케일 방법을 개발해야 한다.
- ⑥ 트리밍 여유를 고려해야 하므로 재료 이용률이 낮다.

#### 2.2.3 第3方法에서의 問題點

- ① 7공정을 거쳐야 되므로 작업과정에서 리드타임이 길어진다.

- ② 3회의 A.S.B 처리와 대응량의 프레스가 패스별로 1대씩 모두 3대가 필요하므로 시설 투자비가 높게 되어 제조원가를 절감하기 어렵다.
- ③ 金型設計 製作時 높은 수준의 기술이 요망된다.
- ④ 3종류의 방법중 제3방법은 제조원가가 가장 높다.

이상의 문제점을 해결하기 위하여 기존의 단조공정을改善한 뒤 금형을 제작하여 실험하고자 한다.

### 3. 鍛造工程設定 및 金型設計

#### 3.1 鍛造工程 設定

요즈음 各國에서는 냉간단조 공정개선과 금형 설계 제작 기술의 발달과 함께 복잡한 형상의 고강도 소재에 대한 단조 가공의 필요성으로 인해 가공품의 온도를 어느정도까지 높여 단조하므로써 가공품의 變形抵抗을 낮추고 냉간단조의 成形限界를 벗어나게하여 열간단조에서 보다는 단조품의 치수정도를 높이는 溫間鍛造가 적용되고 있다.

이러한 온간단조 방법은 정확한 치수의 성형과 대량생산을 요구하는 비교적 복잡한 형상을 하고 있는 자동차 부품의 성형에도 사용되고 있으며 아울러 온간단조와 냉간단조를 조합한 공정의 改善에 의하여 단조품의 正形加工(net shape manufacturing)이 진행되고 있다.

온간단조는 단순히 成形工程뿐만 아니라 加工熱處理<sup>25)</sup>에 의하여 열처리 단독으로는 기대할 수 없는 성능을 얻을 수 있고 또한 成形性(formability)과 加工性(workability) 향상을 위한 어닐링처리와 제품 품질 향상을 위한 가공후 열처리를 생략할 수 있기 때문에 더욱 각광을 받고 있다고 한다. <sup>(22,23)</sup>

더욱이 최근에는 금속재료의 가공 열처리 기술 개발로 인해 단조에 의한 塑性加工技術을 단순히 성형기술로 보지 않고 새로운 재질을 개발하기 위한 수단으로 보고 있다. 이것은 소성가공의 변형률, 변형률속도, 온도 등의 가공조건을 제어하여 재질개선을 행하면 가공시간과 에너지 소비의 감소에도 기대된다고 알려져 있으며 일부는 실용화되어 있다고 한다. <sup>(26)</sup> 이와 같이 문헌에서도 온간단조의 활용이 실용화되어 있고 많은 각광을 받고있는 단조 기술이므로 본 실험에서는 단조공정 설정을 냉간단조에서 온간단조로 변경하여 설정하고자 하였다. 즉, 로터풀을 냉간단조 가공할 때 단조전 소재에 어닐링을 하고 있다. 이것은 成形性 향상을 위한 수단이다. SM10C의 경우 어닐링 할 때의 온도는 850~890℃ 정도이다. <sup>(7,18,27,28)</sup> 이 온도는 온간단조를 할 수 있는 재료의 가열온도영역<sup>(5,7,8)</sup>이므로 어닐링 온도까지 가열한 후 냉각시키지 않고 그 상태에서 온간단조 가공을 하면 냉간단조에서의 A.S.B 처리 공정을 생략할 수 있을 것이고 냉간단조 성형가공 한계와 관계없이 성형이 가능할 것이라는 假定下에 단조방법을 온간단조후 S.B 처리만 하고 냉간단조로 연결되는 공법으로 다음과 같이 설정하였다.

- (1) 제1공정 : 素材커팅(bar cutting, SM10C)
- (2) 제2공정 : 素材加熱(800℃)
- (3) 제3공정 : 제1패스(1st pass) 트랜스퍼 온간단조공정 (transfer warm forging process)(Fig.1)
  - ① 제1스테이지 : 업세팅(upsetting)
  - ② 제2스테이지 : 측압방출(lateral extrusion)
  - ③ 제3스테이지 : 헤딩(heading)과 인덴팅(indenting)
  - ④ 제4스테이지 : 트리밍(trimming)
- (4) 제4공정 : 냉간단조전 S.B 처리
- (5) 제5공정 : 제2패스(2nd pass) 트랜스퍼 냉간단조공정 (transfer cold forging process)(Fig.2)
  - ① 제1스테이지 : 컵핑(cupping)

- ② 제2스테이지 : 벤딩(bending)
- ③ 제3스테이지 : 피어싱(piercing)과 포밍(forming)
- ④ 제4스테이지 : 리스트라이킹(restriking)
- ⑤ 제5스테이지 : 플래트닝(flattening)

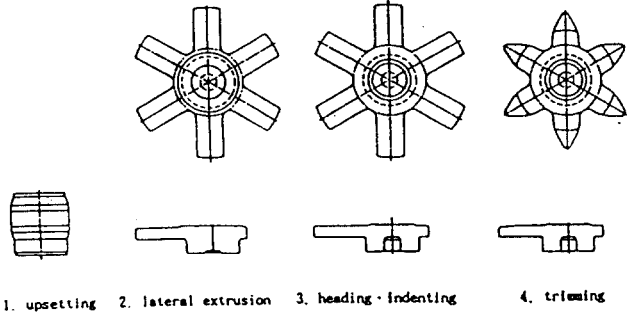


Fig.1 Transfer warm forging process in 1st pass

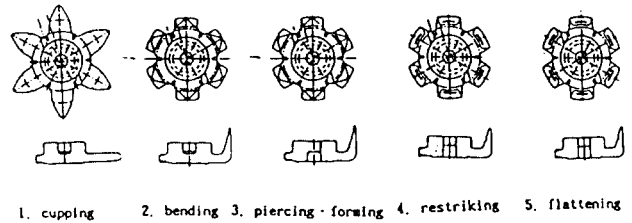


Fig.2 Transfer cold forging process in 2nd pass

#### 3.2 金型設計

온간단조는 냉간단조와 열간단조의 중간에 위치하는 가공법이므로 사용하는 금형의 구조에서 냉간단조에 가깝다. 피가공재의 變形抵抗 그 자체는 냉간에서 보다 상당히 낮지만 변형 저항이 낮은 만큼 냉간단조보다 過酷한 조건하에서 가공하는 경우가 많으므로 결국 금형은 상당히 過酷한 조건하에서 사용하는 것으로 된다. 또 온간단조에서는 가공품의 치수 정밀도를 냉간단조용으로 금형과 같은 정도로 하여야 한다. 따라서 온간단조용 금형 설계는 기본적으로 냉간단조용 금형을 참고로 하여 거기에 설계 기준을 맞추어야 한다. 그리고 온간단조용 금형은 단조과정에서 온도상승이 심하므로 이를 억제하기 위하여 냉각시켜야 한다. 그래서 사용하는 것이 潤滑液이다.

이 潤滑液은 피가공재에 윤활역할도 하지만 동시에 금형을 냉각시키기 위하여 공급한다. 윤활액은 금형주변과 프레스 주위의 청결과 오염을 방지하기 위하여 백색윤활유를 쓴다. 특히 윤활액이 다이의 임프레션안에 남아서 가공품의 充滿을 방해하지 않도록 다이블록 측면에 홈을 파고 녹아오르드가 작동할 때 타이밍을 맞추어 윤활액과 불순물을 공기로 불어 방출 시키도록 한다(Fig.3과 4).

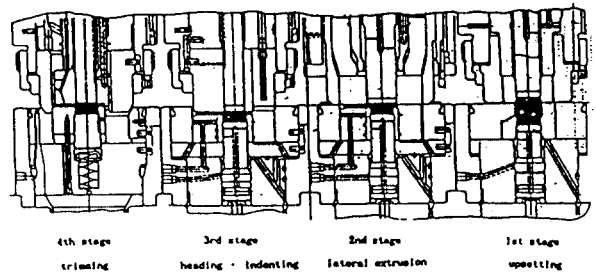


Fig.3. Assembly drawing of transfer warm forging dies

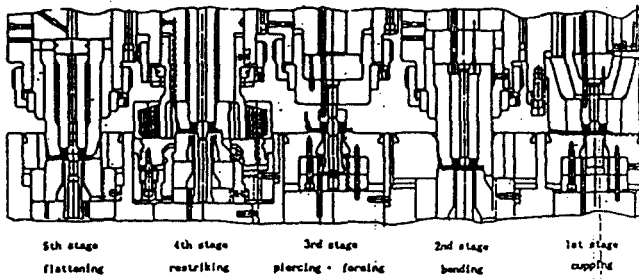


Fig.4 Assembly drawing of transfer cold forging dies

## 4. 실험 및 비교검토

### 4.1 실험방법

트랜스퍼 온간단조금형을 제1패스에 설치하고 프레스의 속도를 40 S.P.M으로 조정하였다. 실험용 슬러그를 加熱爐에 넣고 800°C까지 가열한다. 그리고 금형에는 백색윤활유를 사용하였다.

#### 1) 실험1

Fig.5의 금형에 업세팅된 소재를 놓고 가압 완료후 성형된 제품과 금형을 관찰하니 다음과 같은 문제점이 나타났다.

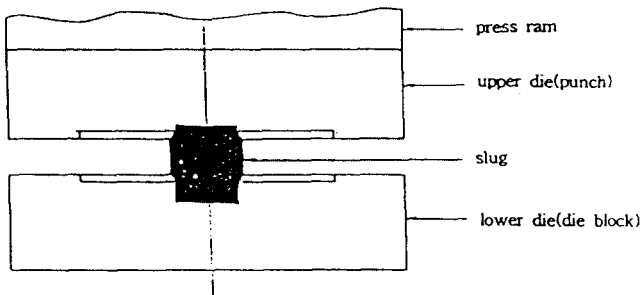


Fig.5 The schematic diagram showing the 1st method of operation

- ① 소재는 임프레션을 완전히 충만시키지 못하는 충전부족이었다.
- ② 상형과 하형사이가 완전히 밀폐되지 않고 플래시가 발생하였다.
- ③ 임프레션의 코너부위에 균열이 발생되었다.

그러나, 상기와 같은 문제점이 발생된 반면, 업세팅된 소재가 축압방출되는 과정에서 충전부족현상은 있었으나 균열현상은 없었으므로 온간단조 온도영역에서의 단조는 초소성 단조 (super plastic forging)가 되고 있음을 입증하는 것으로 사료되어 금형의 구조에 따른 작동원리를 수정보완하면 해결할 수 있을 것이라는 판단을 할 수 있었다.

#### 2) 실험2

Fig.6의 금형에 업세팅된 소재를 놓고 프레스램이 하강하여 프레스패드에서 달린 센터 펀치를 가압하였다. 가공 완료된 후 제품과 금형을 관찰하니 다음과 같은 실험결과가 나타났다.

- ① 소재는 임프레션을 완전히 충만시키지 못하였으나 단조품에 균열현상은 없었다.
- ② 펀치 하면과 다이 상면에 균열현상이 발생되었다.
- ③ 펀치머리부와 맞닿는 프레스패드에 눌린자국이 발생되었다.
- ④ 임프레션 모서리에 심한 마멸과 균열현상이 발생되었다.

제2실험에서는 성형품의 형상이 제1실험보다 훨씬 좋아졌으나 금형의 손상은 컸다. 따라서 충격 완충작용을 할 수 있는 제3실험으로 계속 진행하였다.

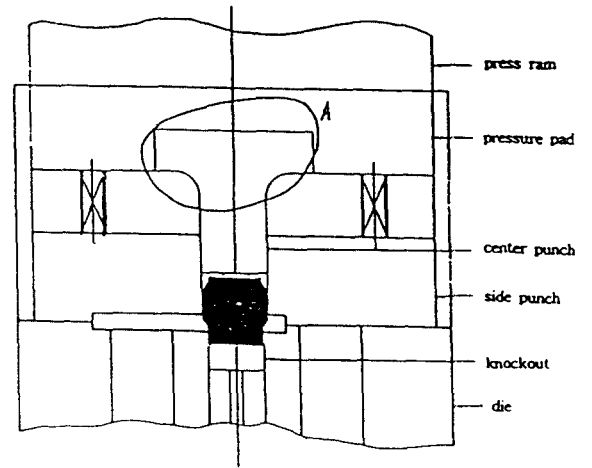


Fig.6 The 2nd method of operation employed in here

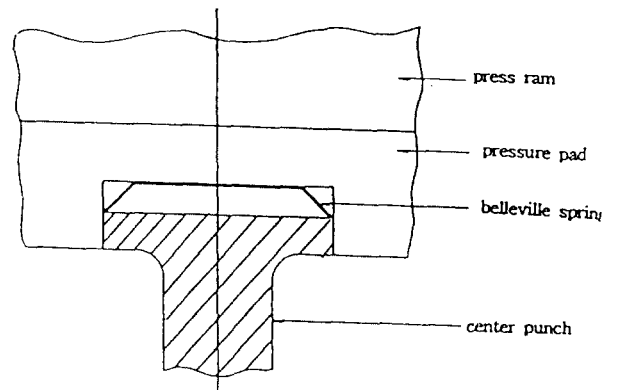


Fig.7 Detail "A" of Fig.6

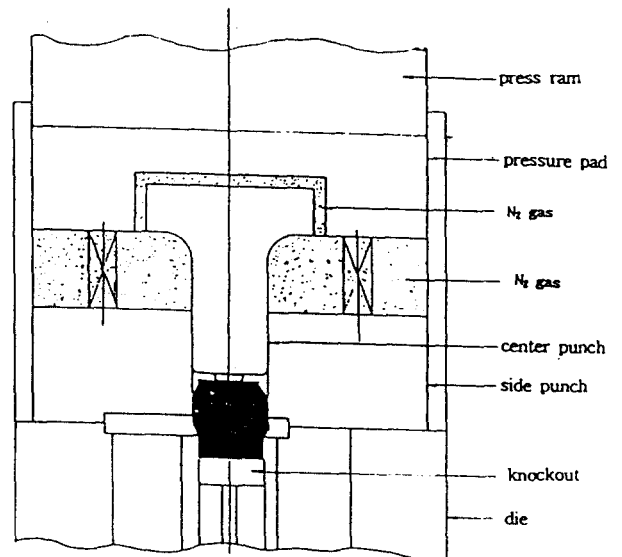


Fig.8 The 4th method of operation designed for this experiment

### 3) 실험3

Fig.7의 금형은 제2실험에서 충격완충 작용을 고려하여 접시스프링을 펀치머리부에 내장시킨 것이다. 업세팅된 소재를 놓고 제2실험과 동일하게 실시하였더니 다음과 같은 결과가 나타났다.

- ① 소재의 충전부족 현상은 계속 발생하였으나 제2방법보다는 충전부족량이 적었다.
- ② 접시스프링의 기능이 좋지 않아 펀치의 리턴작용이 완만하지 않고 펀치 머리부와 프레스패드에 간극이 생겨 펀치의 기능을 방해하고 있었다.
- ③ 임프레션 모서리부에 마멸현상이 발생되었다.

충격 완충 작용용으로 접시스프링을 설치하였던 바, 금형작동과 제품에서는 제2실험보다 좋은 결과를 얻은 반면 충전부족 현상을 막을 수가 없었다. 충전부족 현상을 방지하려면 프레스 용량을 높여 고압력으로 가격하면 되겠지만 그렇게 하면 고압력에 의한 충격으로 금형의 손상이 더 큰 문제가 되므로 펀치의 작용을 空壓에 의한 구조로 바꾼 제4실험을 실시하였다.

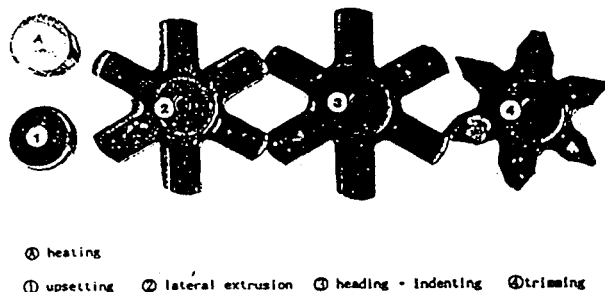
### 4) 실험4

이 방법은 펀치를 프레스패드가 직접 가격하는 것이 아니고 압축된 공기로 펀치머리부를 누르게하여 직접가격 할때의 충격을 완화시키면서 펀치가 작동하도록 한 것이다. Fig.8의 다이위에 업세팅된 소재를 얹어놓고 프레스를 하강시켰다.

센터펀치는 하강하여 소재를 누르고 사이드 펀치는 다이상면과 맞닿게 되어 측방압출이 진행되었다. 이렇게하여 작업이 완료된 제품을 관찰하였을 때 지금까지 발생되었던 충전 부족 현상이 해소된 滿充의 제품이 성형된 것이다. 이것은 너클프레스의 작용을 압출기의 작동으로 전환시키기 위하여 단조금형의 상형에 질소가스를 주입시키고 그 공압으로 펀치를 하강시켜 측방압출을 시도하였기 때문에 성공적으로 성형이 완료된 것으로 판단된다. 따라서 Fig.8의 금형을 Fig.3의 제2스테이지에 조합시켜 순서대로 제1스테이지부터 제4스테이지까지 가공하여 최종결과를 얻는 실험을 하려고 이 금형을 프레스에 설치하였다.

슬러그가 가열되는 동안 프레스는 空回轉 시켜서 트랜스퍼 피더장치의 작동유무를 파악한다. 이와같이 예비준비가 완료되고 가열로의 온도미터의 지침이 800℃가 되었을 때 프레스의 문을 닫고 스타트 스위치를 눌렀다. 이때 붉게 가열된 슬러그가 낙하하고 트랜스퍼피더는 이를 집어 제1스테이지로 옮겨 놓으면서 펀치가 하강하여 업세팅을 하였다.

이어서 펀치가 리턴되고 업세팅된 半製品은 트랜스퍼 피더에 의하여 본 실험의 成敗를 결정하여 주는 제2스테이지로 옮겨지면서 측방압출을 가한다. 반제품이 확실히 측방압출 되어졌는지의 여부는 프레스가 작동중 이므로 알 수 없었으나, 계속 피더장치가 제3·제4스테이지로 옮겨지면서 작동을 하여 드디어 프레스 밖으로 첫 번째 제품이 取出되었다.



① heating ② upsetting ③ lateral extrusion ④ heading-indenting ⑤ trimming

Fig.9 The shape of product in each stage of transfer warm forging dies

취출된 제품을 확인하니 Fig.9와 같이 스테이지 마다 성공적으로 성형 완료되었다. 계속하여 200여개의 슬러그를 제1패스 프레스에서 성형하고 이것들을 냉간단조 하기 위하여 前處理 하였다.

종래에는 A.S.B 처리를 하였으나 실험전 假定한대로 어닐링은 생략하고 S.B 처리를 하였다.

S.B 처리가 완료된 반제품을 제2패스 프레스에 설치된 냉간단조 금형을 이용하여 실험을 계속 하였다. S.B 처리된 200개의 반제품을 실험한 결과 역시 냉간단조 가공도 Fig.10과 같이 무난히 완료하게 되었다.

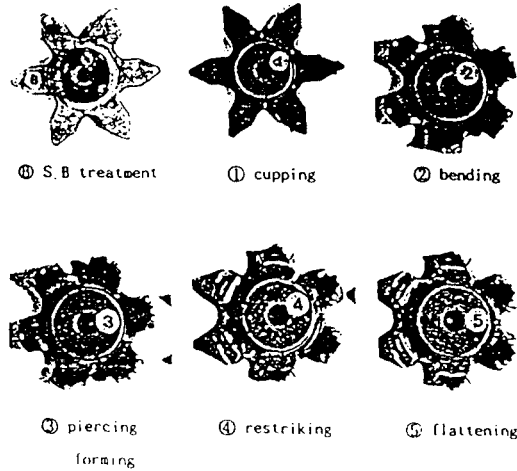


Fig.10 The specimen shape in each stage of transfer cold forging dies

문헌<sup>(6,7,10,12-24,26,29)</sup>에 의하면 온간단조에서는 금형의 수명이 짧은 반면 소재에 대한 材質改善이 가능하다고 하였는 바, 본 연구에서도 동사항을 검토키 위하여 다음과 같이 조직을 관찰하였다. 온간단조에 따른 가공품의 組織變化를 관찰하기 위하여 스테이지별 단조품을 임의로 5개씩 抽出하였다.

抽出된 단조품을 절단 및 연마한 뒤 그 미세조직을 광학현미경으로 관찰하였다. Fig.11은 단조품의 조직을 관찰하기 위해 절단된 부위이다. 관찰부위는 단조가공중 변형을 가장 많이 받은 부위를 대상으로 하였고 Fig.11의 (C)는 측방압출 가공이므로 全體加工中 변형을 가장 많이 받게되므로 단조품의 전체부위를 대상으로 관찰하였다.

### 4.2 組織檢査

Fig.11의 스테이지별 (a)(b)(c)(d)(e)에 대한 전체공정의 조직변화와 (c)의 포인트별 조직변화는 Fig.12, Fig.13 및 Fig.14에서 관찰할 수 있다.

Fig.12는 各工程(스테이지)에 대한 조직사진으로 Fig.11(a)(b)(c)(d)(e) 위치에서의 조직사진(X100)이다. 보는 바와 같이 Fig.11(a)(b)(c)(d)(e)의 공정에 따라 혹은 각 포인트에 따라 조직의 차이가 확실하게 나타남을 알 수 있다. 즉, 各工程에서의 塑性變形의 정도와 가공온도의 차이로 이들 부위에서 서로 다른 조직으로 변하게 된다. 본 실험의 온간단조에서는 가공과 동시에 再結晶(recrystallization)이 생기는데 이것을 動的 再結晶(dynamic recrystallization)이라 하며 이는 가공온도와 가공속도에 의해 영향을 받는다. 이 과정은 Fig.12에 잘 나타나 있다.

Fig.12(a)(b)(c)를 살펴보면 작은 검은부분의 펄라이트 조직이 하얀부분의 페라이트 粒界사이엔 분포되어 있는 것을 볼 수 있다.

Fig.12(d) 에서는 前工程에 의해 고르게 분산 되어진 조직 주위에 亞粒界組織이 생성된 것이며 따라서 아주 미세한 조직이 분포되어 있는 것처럼 보인다. 이는 헤딩가공에 의하여 轉位가 集積되고 이 전위가 내부의 축적에너지와 가공시의 외부 열에너지로 인하여 활성화되어 가공중 動的 回復이 일어나 조직의 상경계 주위에 집적되어진 전위가 보다 안정된 위치로 재배열하여 마치 粒界처럼 보이게 되는 것이다. (33,34)

Fig.12(e)는 트리밍 가공으로 내부는 거의 소성변형을 받지 않으므로 단순히 앞과정 조직의 성장에 의해 만들어진 조직이다. 재결정의 성장은 생성된 재결정의 입계가 이동함에 의하여 일어나는 현상인데 이때 열에너지와 입계의 이동에 소요되는 시간이 충분이 주어지면 재결정립은 Fig.12(e)와 같이 성장하게 된다. 또한 본 실험의 경우 소재를 760~810℃에서 가공이 시작되므로 가공재는 變態點  $A_{c1}$  부근의 영역에 있게 되어 조직은 부분적으로 오스테나이트로 변태하게 되며 소성가공에 의하여 가공경화 되어진 오스테나이트가 만들어지게 된다.

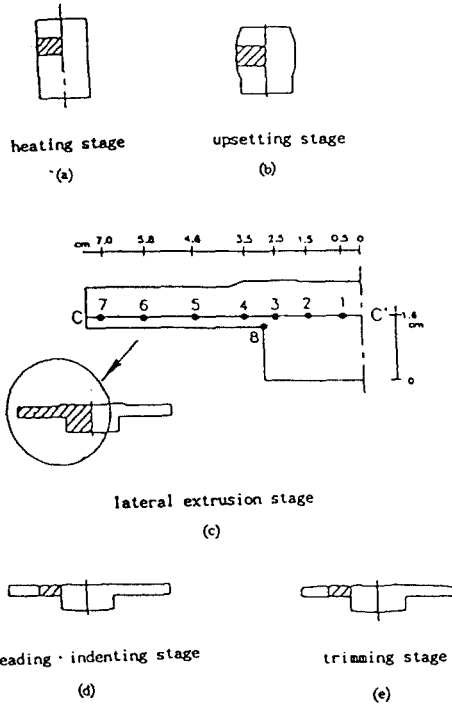


Fig.11 Sectional drawing of products formed by each shape

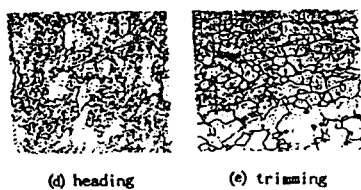
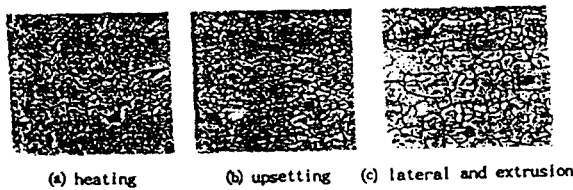


Fig.12 Optical micrographs for the specimen after each process in warm forging (x100)

이때 오스테나이트로 변태 되지 못하고 남아 있는 시멘타이트는 페라이트조직과 結晶格子가 달라 상경계를 이루게 되며 소성가공에 의한 전위의 집적에 의하여 다른 부분보다 높은 轉位密度를 가지게 되어 이 시멘타이트 상경계 부분에 재결정의 핵이 우선적으로 생성하게 된다. (33,34)

Fig.13은 Fig.11(c)의 각 포인트 1,2,3,4,5,6,7 위치에서의 조직 사진(x100)을 나타낸 것이다. 그림에서 포인트 1과 포인트 7은 거의 변형을 받지 않은 부위로 Fig.12(b)의 조직과 유사하다. 즉, 이 위치의 조직은 거의 변형을 받지 않아 비교적 큰 粒徑이 작아짐을 알 수 있으며 포인트 4에서 가장 작은 입경을 갖고 있음을 보여주고 있다.

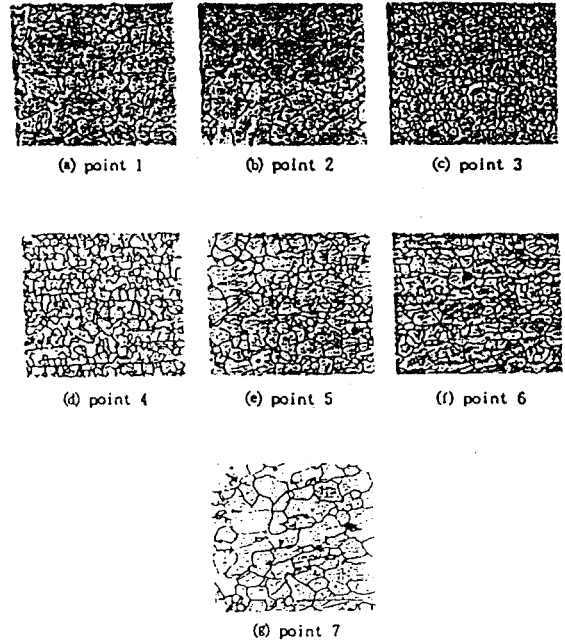


Fig.13 Optical micrographs at several locations of Fig.11(c) in the 3th stage of lateral extrusion

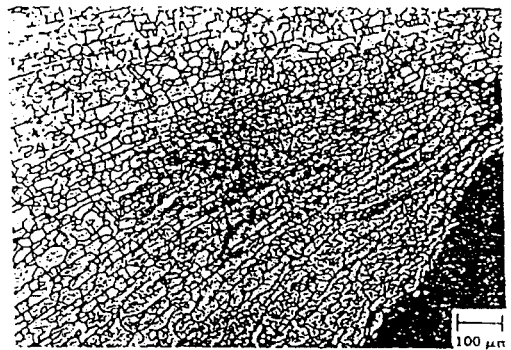


Fig.14 Micrographs at point 8 of Fig.11(c)

Fig.14는 Fig.11(c)의 포인트 8의 조직 사진이다. 표면 부근에서는 마찰에 의하여 유동이 내부에 비해 억제되므로 조대한 조직을 그대로 가지고 있으나 내부의 조직은 상당히 변화되어 있음을 알 수 있다. 또한 동 사진에서는 소성유동 방향으로의 메탈폴로의 유동현상을 볼 수 있다. (33,34)

Fig.15는 Fig.11(c)의 메탈폴로(metal folw)이다. 단면을 다이아몬드 랩제로 래핑한 뒤 염산과 물을 1:1로 섞어서 80℃로 뜨겁게하여 그곳에 25분정도 담구었다가 꺼내어 관찰하였다니 그렇게 나타났다.

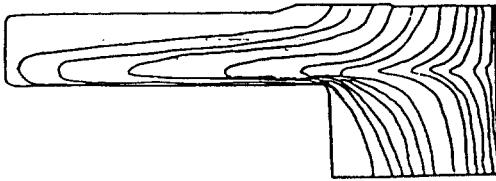


Fig.15 Thd schematic diagram for metal flow of Fig.11(c)

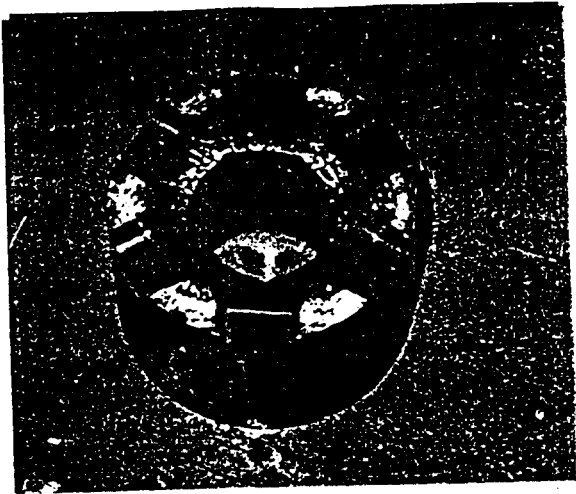


Fig.16 The abrasion phenomena in a part in point 8 of die block and die bushing

Fig.15의 메탈플로에서 소재가 고압력에 의한 마찰과 빠른 속도로 밀집되어 유동되고 있는 것도 알 수 있으며 또한 포인트8 부근은 金型에서 소재가 임프레션 内面으로 押出되어 유동할 때 過酷한 조건을 받는 곳이 되고 磨滅 또한 가장 심할 것으로 판단되어 12,000개 정도 단조후 관찰하니 Fig.16과 같이 마멸되어 있었다. 따라서 Fig.11(c)의 포인트 8부근은 고압력에 의한 마찰과 소재의 빠른 소성유동 속도 및 변형저항등 조건으로 인한 금형의 마멸이 가장 심하게 발생되므로 이 부위의 금형재질 선택과 열처리에서의 어닐링, 담금질, 템퍼링 및 표면처리는 필수적으로 행하여야 한다.

### 4.3 比較檢討

실험결과를 고찰하여 實驗前後에 대한 比較檢討을 하였으며 다음과 같은 결과를 얻을 수 있었다. 온간단조 온도영역에서 단조를 행하므로 냉간단조의 가공한계와 무관하게 變形能(성형성과 가공성)이 뛰어나게 향상되므로 종래의 7공정을 5공정으로 단조시키게 되었으며 프레스 3대가 투입되었던 프레스가공라인을 2대의 라인으로 줄이게 되어 공정수 절감으로 인한 작업의 리드타임이 빨라졌다. 그리고 냉간단조에서는 鍛造前에 A.S.B 처리를 3회 실시하였으나 실험에서의 온간단조는 가공시 재결정에 의한 조직의 미세화가 이루어지므로 성형성이 향상되어 후속 어닐링처리 없이 S.B 처리만 1회 실시하는 효과를 보게 되어 제조원가의 30%정도 절감하게 되었다. 이는 가정에서 설정한 어닐링 온도조건과 문헌에서 밝힌 재결정 관계 및 본 실험에서 행한 온간단조 결과에 나타난 것이 일치하는 것을 볼 수 있다. 이 모든 조건들이 성형성 향상을 입증하는 것이라고 판단된다.

그리고 분할형의 구조로된 로터폴을 온간단조로 바꾸어 1체

형으로 생산할 수 있게 되어 분할형에서의 문제점을 해소하게 되었고, 단조가공시 피가공체는 가공과 동시에 동적재결정을 일으켜 그 조직의 미세화를 가져오게하여 재질이 개선되었다.

특히 가공후 조직사진과 메탈플로에 나타난 결과에서 금형의 과후부위를 예측하므로 금형수명 연장에 대한 대책을 미리 세울 수 있게 되었다. 본 실험에서 사용된 엘터네이터 로터폴은 2000cc이하의 국내산 승용차에 장착되므로 그 수요가 많아 일부는 수입하였으나 생산량을 증가할 수 있어 이에 대한 수입대체 효과도 얻을 수 있는 것으로 기대된다.

열간단조 금형은 펀치와 다이의 임프레션을 보수정비할 때 가우징 → 히팅 → 닷살용접 → 放電加工 → 다듬질 → 템퍼링 → 窒化處理의 순서로 작업을 해야 하므로 금형을 再製作하는 경우보다 前·後處理工程이 많으나 온간단조 금형은 주요부위를 분할다이의 구조로 제작하므로써 마멸이나 균열이 발생할 때 그 부위만 互換組立시키므로 보수 시간이 짧고 보수비가 염가이다.

過酷한 조건을 많이 받는 축방압출 금형에서 下型의 구조로 냉간단조 금형과 동일하게 보강링(shrinkage ring)을 2겹으로 조입시킨 결과 다이블록의 균열 현상이 없었다.

### 5. 結論

로터폴의 단조가공에서 工程을 改善하기 위하여 종래의 열간단조나 냉간단조방법을 사용하지 않고 온간단조로 바꾸어 공정을 개선한 뒤 이에 따른 금형을 설계 제작하여 실험한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- (1) 냉간단조에서 가공 성형한계 조건을 벗어날 경우 工程數를 늘릴 것이 아니라 온간단조후 냉간단조로 연계시키면 공정수 절감이나 복잡한 형상의 단조가 이루어짐을 알 수 있었으며 냉간단조에서는 鍛造前에 A.S.B 處理를 3회 실시하였으나 온간단조후 냉간단조로 연계시킨 공법에서는 어닐링을 생략하고 S.B 處理만 1회 실시로 작업을 완료할 수 있게 되어 종래의 7공정을 5공정으로 공정수를 절감하므로써 3대의 프레스라인을 2대의 프레스라인으로 줄이고 프레스 용량도 1600톤에서 1000톤으로 하향시켜 제조원가를 30% 절감시키는 효과를 얻었다.
- (2) 분할형의 구조로된 로터폴을 1체형의 구조로 성형할 수 있게 되어 분할형에서의 문제점을 해소시켰으며 제품의 정밀도도 열간단조보다 훨씬 향상되어 냉간단조의 정밀도를 유지하게 되었다.
- (3) 온간단조 온도 영역에서의 단조는 가공과 동시에 동적재결정 및 조직의 미세화로 성형성이 향상되어 재질개선이 되었음을 확인하였다.
- (4) 온간단조후 피가공체의 조직사진이나 메탈플로를 통하여 소성변형 유동속도, 고압력에 의한 마찰과 변형저항에 따른 금형의 過酷部位를 분할다이 형식으로 제작하므로 보수정비시 互換組立이 용이하여 보수정비 시간이 짧으며 가장 過酷한 조건을 받는 下型의 구조는 다이블록을 保持할 수 있도록 보강링으로 보강시켜 균열현상을 방지할 수 있다.

### 參 考 文 獻

- (1) 飯塚敏, ドイツの型鍛造, 新日本鍛造協會, 大阪市, PP.188-189, 223-225, 1983
- (2) 飯塚敏, 鋼の型鍛造, 新日本鍛造協會, 大阪市, PP.17-20, 1983
- (3) 권장부역, 프레스핸드북, 기전연구소, 서울 PP.73-118, 1987
- (4) Louis Schuler, Metal forming handbook, Louis Schuler Goppingen, Hamburg, PP.91-95, PP.285-286, 1966
- (5) 財団法人 鍛造技術研究所, 鍛造技術講座, (株)東洋堂, 東京都, PP.106-107, 1981
- (6) 鍛造ハンドブック編集委員會編, 鍛造ハンドブック, 日刊工業新聞社, 東京都 PP.286-314, PP.391-418, 1971
- (7) 小松研究所, 冷(風)間鍛造の基礎技術, (株)小松製作所, Tokyo, PP.15-30, 1988

- (8) 김택윤역, 압축가공금형, 대경서림, 서울, PP.191-196, 1984
- (9) Kurt Lange, Handbook of Metal forming, McGraw-Hill Co, New York, PP.15.1-15.93, 1985
- (10) 이혜영, 온간단조세미나, 민도기계(주), 경주공장, 1991
- (11) 小松研究所, 冷間鍛造の實踐, (株)小松製作所, Tokyo, PP.15-17, 1988
- (12) 藤芳弘著, 冷間鍛造の實踐, 工學圖書(株), Tokyo, PP.15-17, 71-82, 1970
- (13) Koatsu 研究所, Cold forging metals, Koatsu Ltd, Tokyo, PP.9-16, 1988
- (14) 이완섭, 쌍용프레스, (주)쌍용정공, 서울, PP.80-104, 1991
- (15) AIDA Press 硏究會, Press鍛造, AIDA 硏究所, 東京都 P.28, PP.88-89, 1990
- (16) 田村潤, 鋼滑, 日本塑性加工學會誌, 東京都, PP.555-556, 1988
- (17) 官川松秀編, 圖解 プレス加工辭典, 日刊工業, 新聞社, 東京都, PP.154-155, PP.162-191, 1970
- (18) 圖解金屬塑性加工 用語辭典編輯委員會, 圖解金屬塑性加工用語辭典 日刊工業新聞社, 東京都, P.163, 185, 187, 229, 330, 331, 373, 1985
- (19) 前田, 塑性加工, 誠文堂新光社, 東京都, PP.39-40, 1972
- (20) 編輯部, 프레스월드, (株)技術情報, 서울, P.143, 1993
- (21) F. D. Feldmann, Fließpressen von Stahl, Springer-Verlag
- (22) 樋口秀夫, etc., "加工熱處理による材質の改善と制御" 材料 38-435, PP.1458-1464, 1990
- (23) 高橋 渉, etc., "冷間鍛造球狀化に関する實驗的檢討" 塑性と加工 30-345, PP.1420-1426, 1989
- (24) 鈴木康夫, etc., "冷間鍛造の 現状" 鋼と鋼 72-10, PP.1488-1497, 1986
- (25) 機械工學用語辭典編纂委員會編, 機械工學用語辭典, 성안당, 서울, P156, P630, 1993
- (26) 吉野雄彦, "鍛造における材質檢測", 塑性と加工 23-33, PP.1285-1291, 1992
- (27) 金屬熱處理技術便覽編纂委員會編, 金屬熱處理技術, 機電硏究社, 서울, PP.1-6, PP.137-168, 1993
- (28) 구본권, 송권, 공구의 열처리, 천정출판사, 인천, PP.102-104, 1991
- (29) 李鳳勳, 鍛造技術현드북, 도서출판 세화, 서울, PP.29-46, PP.325-326, 1991
- (30) 유현일, 김세현, 김엽태, "스테인리스 강인의 냉간단조용 금형개발에 관한연구" 大韓機械學會論文集 Vol.19, No.3, PP.877-885, 1995, 3
- (31) 김세현 이은용, "로터풀의 단조공정에 관한연구" 천안공업전문대학논문집 제23집 PP.97-109, 1995
- (32) 유현일, 김세현, 서희강, "콜드포밍에 의한 냉간단조용 금형제작에 관한연구" 大韓機械學會論文集 A, Vol.20, No.2, PP.594-603, 1996, 2
- (33) 변길부역편, 금속재료의사전, 대경서림, 서울, PP.181-182, PP.389-390, 1994
- (34) 계진수, 김재훈, 강성수, "온간단조에서의 소성변형과 결정입자 변화와의 관계" 大韓機械學會論文集 A, 제20권 제2호, PP.461-471, 1996