

## 플랜지 요크 성형용 열간단조 금형의 수명 연장

김 세 환\*

### Lengthening of Hot Forging Die Life for Flange Yoke Forming

Seihwan Kim\*

**요 약** 열간단조 밀폐금형의 수명연장을 위한 빌릿의 소성변형 유동해석을 위한 요소법에 의하여 실시한 결과 임프레션 형상에 대한 수정설계를 수행하였고, 임프레션 표면 마멸부위의 보수방법을 육성용접에 의한 방법으로 금형을 재생하여 사용한 결과 개발 전의 3,000개 생산에서 개발 후 5,000개 양산되었을 때 임프레션 표면을 관찰하였더니 3,000개 정도에서 나타났던 마멸보다 얇은 마멸이 나타났다.

**Abstract** The purpose of this study was to find a way to lengthen the life of hot closed forging die. The fluid interpretation on the plastic deformation of billet of billet was performed by finite element method. And design modification on the impression shape was also performed. The defaced part on the impression surface was mended by the developed build-up welding method. The die life was 3,000 units but after the procedure it was lengthened up to 5,000.

**Key Words** : Flange yoke, Hotforging, Impression, flash land, buildup welding

### 1. 서 론

플랜지 요크(flange yoke)는 자동차 하체에서 구동축의 유니버설 조인트(universal joint)로 사용되는 부품이다. 이를 성형 생산할 때는 주조(casting)나 단조(forging)에 의하여 양산하고 있다. 주조로 생산할 때는 기포형성에 따른 크랙발생과 생산성의 비능률, 작업자의 직무 기피 등 문제점이 많으므로 거의 단조가공에 의하여 생산하고 있다.

단조가공에는 소재(billet)의 가열온도에 따른 분류를 하면 냉간단조(cold forging), 온간단조(warm forging), 열간단조(hot forging) 등이 있다. 냉간단조의 소재에 대한 가열온도는 상온(常溫)이며, 온간단조의 가열온도는 많은 의견이 있지만 금속의 경우에는 200~1,000°C 정도를 온간단조의 온도역이라 하고, 열간단조는 1,000~1,250°C 정도라고 한다[1-7].

역사적으로 열간단조가 가장 옛부터이고 냉간단조나 온간단조가 보급된 것은 그리 오래되지 않았다.

산업현장에서 플랜지요크를 성형하기 위한 열간단조 금형을 제작하여 제품을 양산작업 하였더니 평균 3,000

개 정도에서 금형의 임프레션(impression) 표면에 마멸이나 균열현상이 발생되어 금형 수명(die life)이 끝이 나곤 한다. 이 금형을 보수하여 재사용하고 있는데 1회 이상의 보수는 안되므로 금형을 폐기하게 된다.

이 때의 문제점은 금형제작비 과다, 생산작업지연에 따른 납기지연, 제조원가 상승 등이다. 이러한 문제점을 해결하기 위하여 빌릿의 소성변형 유동상태를 유한요소 해석법을 사용하여 금형의 임프레션 표면에서 가장 과혹(過酷, 가혹)한 조건을 받고있는 부위를 찾고 그 부위에 대한 과혹조건을 완화시키며 금형의 재보수 방법을 개발하고자 하였다.

### 2. 문제점 도출

#### 2.1 단조가공시의 문제점

플랜지요크의 빌릿 재질은 S45C이며 단조방법은 열간밀폐단조금형(hot closed forging die)을 사용하여 양산한다. 빌릿의 크기는 지름 55 mm, 길이 85 mm이고 이를 인덕션 가열로(induction furnace)에 장입시켜 1,200°C로 가열한 뒤 디스케일링(descaling)과 스웨이징(swaging) 가공을 하고, 예비단조(preforging, blocker, 황타), 완성단조(finish forging, 정타), 트리밍(trimming)으로 작업을 완료한다(Fig. 1).

\*천안공업대학  
Tel: 041-550-0114

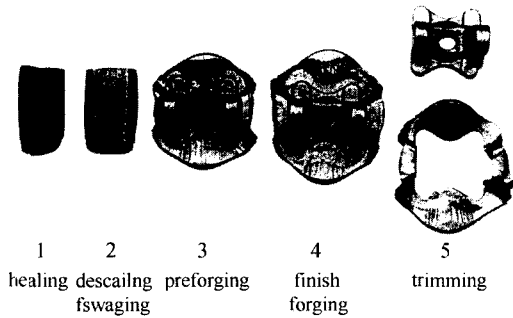


Figure 1. Hot forging procedure.

Figure 1의 공정에 사용되는 프레스는 포징프레스(forging press)이다. 이와 같이 5공정으로 열간단조 성형가공을 할 때 금형 임프레션 표면에 마멸이 극심하여 평균 3,000개 정도 생산하면 금형수명이 끝난다. 이는 열간단조시 소성변형 과정에서 금형의 임프레션 공간(Fig. 2)을 충전시킬 때,

- ① 금형의 고온화 확산발생으로 경도, 인성, 내 마모성 저하
- ② 고압력에 의한 응력분포와 과혹한 마찰저항 발생
- ③ 빌릿의 빠른 유동속도에 따른 압출성 소성 변형
- ④ 금형가공시 또는 보수시 열처리 기술 미흡
- ⑤ 육성용접기술미흡

등의 원인으로 금형수명이 짧은 것으로 판단된다.

열간밀폐 단조금형은 고도의 기계적응력 및 열적응력을 받는다. 단조가공 중 항상 충격하중에 의해 금형은 높은 압력을 받는데 극단적으로는 금형이 파손되는 경우도 있다. 또 고온의 빌릿과 항상 접촉하고 있는 임프레션 표면 등 금형부품은 약 600°C 이상 상승하는 경우가 있다[6, 7].

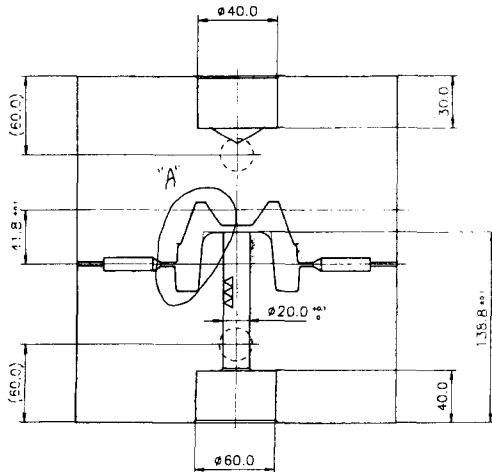


Figure 2. Die impression (upper · lower).

이 때문에 윤활을 겸한 냉각을 하므로 반복적인 가열과 냉각의 열사이클을 받게되어 임프레션 표면에 큰 열응력이 작용하며 이 온도변화를 견디지 못하면 열피로(가열·냉각)에 의한 미세균열현상인 히트체크(heat check)가 발생된다.

이 때문에 윤활을 겸한 냉각을 하므로 반복적인 가열과 냉각의 열사이클을 받게되어 임프레션 표면에 큰 열응력이 작용하며 이 온도변화를 견디지 못하면 열피로(가열·냉각)에 의한 미세균열현상인 히트체크(heat check)가 발생된다. 더욱이 유동변형하는 빌릿과의 사이에 강력한 마찰이 발생되기 때문에 마멸현상이 발생된다[2, 4, 6, 7]. 마멸이 가장 잘 발생되는 부위를 찾기 위하여 빌릿의 소성유동에 따른 변형과정을 유한요소법에 의하여 해석 관찰하고, 임프레션 표면의 마멸발생부위 곡면수정과 보수시 육성용접방법[4, 6, 7] 등에 대하여 연구 개발 하고자 하였다.

### 2.2 금형 보수시 문제점

밀폐형 열간단조금형은 처음 제작하여 사용도중 수명이 끝나면 폐기하지 않고 임프레션 표면과 플래시랜드(flash land) 및 거터(gutter)를 육성용접 방법으로 3~4회 보수하여 재사용한다. 보수하여 사용할 때 마다 금형 수명은 20~40% 연장된다.

보수할 때의 공정은 다음과 같다.

- ① 가우징(gouging)
- ② 육성용접(buildup welding)
- ③ 기계가공
- ④ 방전가공(E.D.M)
- ⑤ 다듬질(finish)
- ⑥ 조립

상기의 작업공정에서의 분석 후 도출된 문제점은,

- ① 가우징 후 육성용접할 때 예열 및 냉각방법의 미흡
- ② 기계가공시 표면조도 미흡
- ③ 방전가공후의 변질층, 잔류응력제거 미실시
- ④ 육성 용접봉의 선택 미흡

등 이므로 이를 해결하는 방법이 금형보수시의 문제점 해소방안이다.

### 3. 유한요소해석

Figure 2의 "A" 공간으로 빌릿이 소성변형 유동되어 임프레션을 충전시키면서 플래시 통로로 압출되어 나갈 때의 변형저항, 응력분포, 유동속도 등에 따른 요소망의 형상을 관찰하여 금형의 임프레션 형상을 수정보완하기로 하였다. 유동 해석시 유동응력  $\bar{\sigma} = 74.4\bar{\sigma}^{0.18}$  [MPa], 상형의 속도 30 mm/sec, 윤활상태 75%, 마찰계수  $m =$

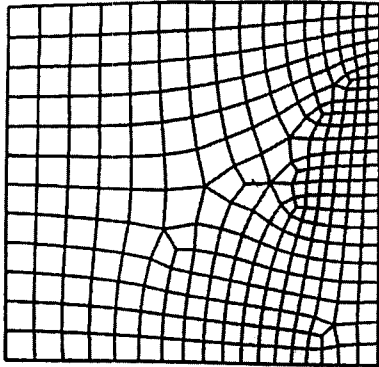


Figure 3. Net of units in swaging.

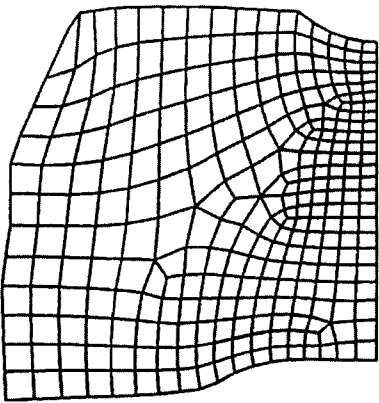


Figure 4. Net of units in 20 mm lowering upper die.

0.2로 가정하였다[8]. Figure 3은 스웨이징 공정시의 해석결과와 요소망이다. 빌릿의 유동이 하중집중부위로부터 하향으로 소성변형이 일어나고 가장자리 부근은 하중접촉이 적으므로 메시가 비교적 균일하다.

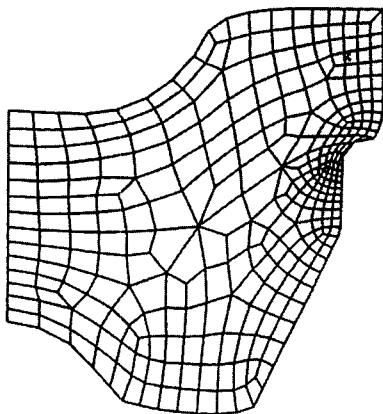


Figure 5. Net of units in 30 mm lowering upper die.

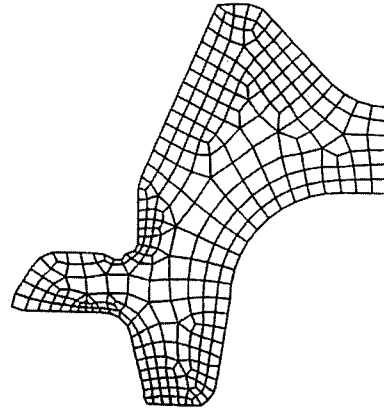


Figure 6. Net of units in 43.3 mm lowering upper die.

Figure 4는 상형(上型)이 20 mm 하향시의 상태이다. 하중력이 집중되어 얇아지는 중앙부위에 조밀한 요소망이 분포되는 것으로 볼 때 변형이 집중되고 있다. 그러나, 가장자리 부근은 변형이 비교적 적으며 균일하게 나타나고 있다.

Figure 5는 상형이 30 mm 하향시의 상태이다. 가장 과혹한 마찰저항을 받는 부위의 요소망은 극소로 치밀하고 형태도 사다리꼴로 집중되어 있다. 이 부위에서의 금형 상면(上面)은 강한 저항력을 받고 있음을 알 수 있다.

Figure 6은 상형이 43.4 mm 하향시의 상태이다. 변형이 극심한 부분이나 임프레션면과의 접촉이 고압력으로 과혹한 부위에는 조밀하게 요소망이 분포되어 있다. 해석결과 소재의 유동시 변형과정, 접촉과정과 하중의 증가 등에 따른 과혹부위의 유한요소망의 형상은 극히 조밀하게 밀집되어 있다.

Figure 7의 압력분포선도나 Figure 8의 응력분포선도를 관찰할 때 상·하형의 임프레션 표면에서 깊은凹부

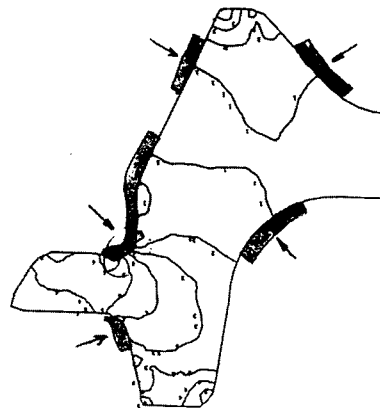


Figure 7. Pressure distribution line.

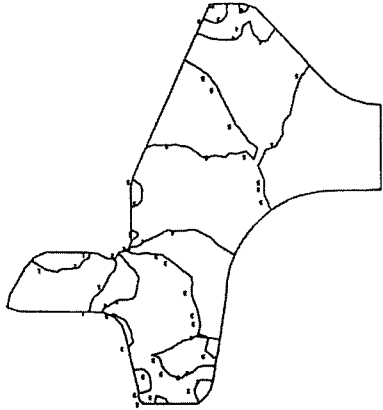


Figure 8. Internal stress distribution line.

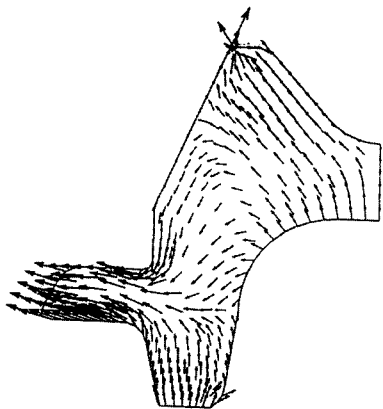


Figure 9. Fluid speed of plastic deformation.

위와 플래시 출구부위에 압력과 응력이 집중되어 있다. 이 부위가 가장 큰 마찰저항이 발생하는 과혹부위 이므로 쉽게 마모되는 곳으로 판단된다[6, 7, 8].

상형 진행에 따른 소성변형 유동속도 분포를 Figure 9에 표현하였다. 이를 통해 소성유동양상의 판단이 가능하다. 따라서 임프레션을 충전시키고 남은 빌릿은 플래시 출구를 향하고 있으며 출구에 가까워 질수록 속도가 빠르게 진행되며 급커브 코너부근에서는 진행방향이

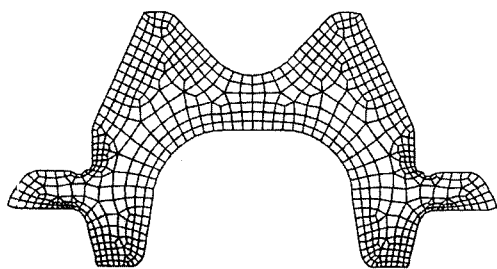


Figure 10. Final shape.

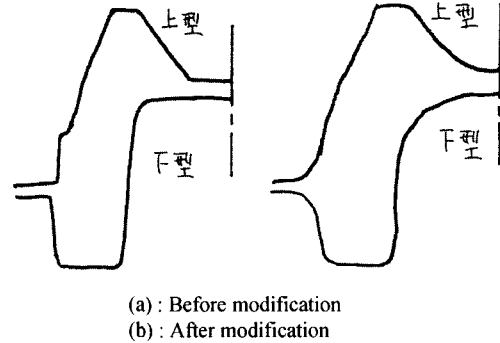


Figure 11. Modification of protuberance on impression curve.

급속히 90°로 바뀌는 것을 알 수 있다.

Figure 10은 상형이 최하위까지 진행완료 되었을 때의 단조제품(플랜지요크)의 형상과 유한 요소망을 표현한 것이다. 플랜지 요크의 플래시입구부위는 상하의 뿌리부위의 요소망 보다 치밀하게 밀집됨과 동시에 형상이 일그러져 있다.

Figure 5 초기단계에서의 빌릿의 코너부위 요소망, Figure 6의 플래시 출구부위의 요소망, Figure 7의 압력 분포선도에서의 압력집중부위, Figure 8의 응력분포선도에서의 응력집중부위, Figure 9의 소성변형 유동속도에서의 빠른 속도 등의 요소망을 관찰할 때, 금형 상·하형의 임프레션 표면의 과혹부위와 실제 사용하였던 단조작업 후의 금형에서 나타난 마멸부위가 일치함을 알 수 있다. 따라서 이들 부위(Fig. 7의 화살표 영역)에 대한 보강대책은 Figure 11과 같은 임프레션 형상의 수정이며[6, 7, 9, 10] 마멸된 금형의 재생보수방법에서 그 라인딩에 의한 단 1회의 보수보다는 육성용접에 의한 보강과 이에 대한 가공방법 개선이 필요하다.

#### 4. 금형의 수명연장 대책

##### 4.1 열간단조금형의 재료선정

열간단조금형(밀폐형)은 고도의 기계적응력 및 열적응력을 받는다. 즉, 단조가공 중 항상 충격하중에 의해 금형은 높은 압력을 받는데 극단적으로는 금형이 파손되는 경우도 있다. 또 고온화된 소재(빌릿)와 항상 접촉하여 임프레션이나 플래시 통로 등 금형표면은 600°C 이상 상승하게 된다. 이 때문에 윤활을 겸한 냉각을 하므로 반복적인 가열과 냉각의 열사이클을 받게 되어 금형표면에 큰 열응력이 작용하며 이 온도변화를 견딜 수 없으면 히트체크나 마멸이 발생하게 된다[6, 7, 9, 10]. 더욱이 소성변형하는 빌릿과의 사이에서 강한 마찰저항이 작용하기 때문에 마멸이 발생하는 것은 당연한 일이

**Table 1.** Chemical component of die material for hot forging [7]

기호	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Mo	W	V
SKD 4	0.25~0.35	0.40 이하	0.60 이하	0.030 이하	0.030 이하	-	2.00~3.00	-	5.00~6.00	0.30~0.50
SKD 5	0.25~0.35	0.40 이하	0.60 이하	0.030 이하	0.030 이하	-	2.00~3.00	-	9.00~10.00	0.30~0.50
SKD61	0.32~0.42	0.80~1.20	0.50 이하	0.030 이하	0.030 이하	-	4.50~5.50	1.00~1.50	-	0.30~0.50
SKD61	0.32~0.42	0.80~1.20	0.50 이하	0.030 이하	0.030 이하	-	4.50~5.50	1.00~1.50	-	0.80~1.20
SKD62	0.32~0.42	0.80~1.20	0.50 이하	0.030 이하	0.030 이하	-	4.50~5.50	1.00~1.50	1.00~1.50	0.20~0.60
SKT 2	0.50~0.60	0.35 이하	0.80~1.20	0.030 이하	0.030 이하	-	0.80~1.20	-	-	-*
SKT 3	0.50~0.60	0.35 이하	0.60~1.00	0.030 이하	0.030 이하	0.25~0.60	0.90~1.20	0.30~0.50	-	-*
SKT 4	0.50~0.60	0.35 이하	0.60~1.00	0.030 이하	0.030 이하	1.30~2.00	0.70~1.00	0.20~0.50	-	-*
SKT 5	0.50~0.60	0.35 이하	0.60~1.00	0.030 이하	0.030 이하	-	1.00~1.50	0.20~0.50	-	0.10~0.30
SKT 6	0.70~0.80	0.35 이하	0.60~1.00	0.030 이하	0.030 이하	2.50~3.00	0.80~1.10	0.30~0.50	-	-*

\*SKT 2, SKT 3, SKT 4 및 SKT 6은 V 0.20% 이하 첨가할 수 있다.

비고) 각종 모두 불순물로서 Ni 0.25%(SKT 3, SKT 4 및 SKT 6을 제외) Cu 0.25%를 넣어서는 안된다.

다. 그래서 열간단조용 금형재료는 통상적으로 고텍스 텐계, 5%Cr-Mo계, 3Ni-3Mo계(석출경화형)가 적합하며[6, 7] 산업 현장에서는 SKD61을 선호하고 있다.

일부업계에서는 SKT4나 KDA-1, K190, M390 등을 사용하여 SKD61보다 금형수명을 30~70% 연장하고 있다. 이들에 대한 화학성분은 Table 1과 같다.

#### 4.2 육성용접

마멸된 임프레션 표면을 육성용접하여 기계가공 함으로써 금형을 보수(재생)한다. 아무리 좋은 용접봉을 사용하더라도 용접작업순서를 지키지 않으면 효과가 전혀 없다. 육성용접에 대한 순서를 반복된 현장작업에 의하여 다음과 같이 개발하였다.

- ① 마멸부위를 가우징한다.
- ② 용접 전에 가우징 부위를 200°C~250°C로 1~2시간 예열한다.
- ③ 육성용접한다.
- ④ 용접이 완료됨과 동시에 600°C 정도로 1시간 가열한다.
- ⑤ 용접부위를 석면포로 1~2겹 덮고 철판상자로 덮은 상태에서 서냉한다.
- ⑥ 기계가공한다.
- ⑦ 어닐링한다.
- ⑧ 담금질한다.
- ⑨ 템퍼링한다.
- ⑩ 기계가공한다. 방전가공(E.D.M)
- ⑪ 템퍼링한다.(E.D.M가공이 아닐 경우 생략)

⑫ 표면경화처리

⑬ 사상·조립

※ 용접 후 열처리 하지 않는 용접봉일 때는 ⑧, ⑨항 생략한다.

## 5. 결 론

열간단조 밀폐금형의 수명연장을 위한 빌릿의 소성 변형 유동해석을 유한요소법에 의하여 실시한 결과 임프레션 형상을 Figure 11과 같이 수정설계를 수행하였고, 임프레션 표면 마멸부위의 보수방법을 육성용접에 의한 방법으로 금형을 재생하여 사용한 결과 개발전의 3,000개 생산에서 개발 후 5,000개 양산되었을 때 임프레션 표면을 관찰하였더니 3,000개 정도에서 나타났던 마멸보다 얇은 마멸이 나타났다. 이 금형을 다시 2번째 육성용접하여 사용하였더니 7,000개로 향상되었다.

다이블록 보강링(인서트링)이 잘 견딘다면 육성용접은 4~5회까지 할 수 있으며 육성용접을 매번 할 때 마다 40% 정도의 금형수명연장을 하게 되어 4회일 경우 160%의 연장효과를 얻게 되었다.

## 후 기

본 논문은 2002년도 산학연 지역 컨소시엄 사업에 의해 (주)신화금속공업과 천안공업대학이 공동으로 개발한 결과이며 이를 지원하여 준 관계기관의 제위께 감사드립니다.

### 참고문헌

- [1] 편집부역, 프레스핸드북, 기전연구소, 서울, pp. 73-18, 1987.
- [2] (재)단조기술연구소, 단조기술강좌, (주)동신당 동경, pp. 106-107, 1981.
- [3] 소송연구소, 냉온간단조의 기초기술, (주)고마츠연구소, 동경, pp. 15-30, 1988.
- [4] Kurt Lange, Handbook of Metal forming, McGraw-Hill Co, New York, pp. 15.1-15.60, 1985.
- [5] 이해영, 온간단조세미나, 만도기계(주), 경주, 1991.
- [6] 型技術協會編, 型技術便覽, 日刊工業新聞社, 東京, pp. 546-571.
- [7] 단조기술연구소, 단조기술핸드북, 세화, 서울, pp. 248-315.
- [8] 이동녕, 소성가공학, 문운당, 서울, p. 128, 1994.
- [9] 단조핸드북 편집위원회, 鍛造ハンドブック, 日刊工業新聞社, 동경, pp. 64-66, 89-93, 1921.
- [10] forging and casting VOL 5, Metals Handbook, American Society 50V metals, pp. 57-59, 1970.