

플랜지의 공정해석

장용석* · 황병복**

An Analysis of the Forming Processes of a Flange

Yong-Suk Jang* and Beong-Bok Hwang**

Abstract

The current three-stage cold extrusion process including upsetting to produce a flange is investigated for the purpose of improvement of manufacturing process. The main goal of this study is to obtain an appropriate process sequence which can produce the required part most economically without overloading of tools and select an appropriate process for reducing manufacturing cost. The current process sequence is simulated and design criteria are examined. Based on the results of simulation of the current three-stage process, a design strategy for improving the process sequence is developed using the thick-wall pipes. Based on the results of simulation of the one-stage processes, the forming processes of a flange for improving the conventional process are proposed.

Key Words : Flange, Cold Extrusion, Upsetting, Thick-wall pipes, Forming process

1. 서 론

플랜지는 일반적으로 대형구조물에 사용되는 부품으로써 석유화학 플랜트, 발전소, 산업 플랜트 등에 필요한 산업용 부품이다.^[1] 단조방식에 의한 부품 생산에서는 적절한 공정설계를 위한 가공순서 결정, 예비 형상의 설계, 가공 조건 결정 그리고 가공 장비의 선정 등이 고려되는 것이 경제적으로 알맞은 제품생산을 위한 필수적인 과정이라고 할 수 있다.^[2-4]

최근 시뮬레이션 방법으로 기존 전문가에 의한 공정설계시 발생할 수 있는 여러 문제점을 보완할 수 있게 되었다. 시뮬레이션은 수치해석적 방법으로서 유한요소법^[5]과 상계요소법^[6] 등이 있으며, 이러한 수치해석적 방법을 이용하여 재료의 유동특성, 응력, 변형율, 내부결합, 다이 충만 정도 등의 각종 특징들을 예측할 수 있다. 또 다른 방법으로써 최근 전문가 시스템^[7]을 도입한 공정설계는 물리적인 성질의 변화 등을 얻을 수는 없지만 공정 변수요인, 제품오차 요인과 같은 변수

를 설정하여 공정을 설계하고 있다.

본 논문에서는 3단계로 생산되는 기존의 플랜지 성형공정과 새로운 공정을 유한요소법을 이용하여 단계별로 해석하였다.

2. 플랜지의 제작공정

2.1 해석조건

기존의 플랜지 제작공정에서는 지름이 120.0 (mm), 길이 260.0(mm)의 초기빌렛을 사용한다. 재료와 금형 사이의 마찰계수는 0.2로 가정하였다. 플랜지의 재질은 ASTM A105 (1015 Carbon Steel) 강재를 사용하고, 가공이 상온에서의 냉간 압출 공정이므로 해석에 사용된 재료의 유동응력과 유효변형률의 관계식은 다음의 식으로 표현하였다.^[8]

$$\bar{\sigma} = 794.3 \bar{\epsilon}^{0.11} \quad (MPa) \quad (1)$$

2.2 기존의 제작방법

기존의 플랜지는 기계프레스의 일종인 4,000

* 석사과정, ** 인하대학교 자동차공학과 부교수

tonf 크랭크프레스를 이용하여 3단계의 공정으로 생산된다.(Fig. 1) 업셋팅 공정은 플랜지 지름의 크기를 확보하기 위한 첫 공정이고, 전·후방 압출 공정에서는 플랜지와 플랜지 neck 성형하며, 피어싱·트리밍 공정은 중공축 형상으로의 가공과 플래시를 제거하기 위한 공정이다.

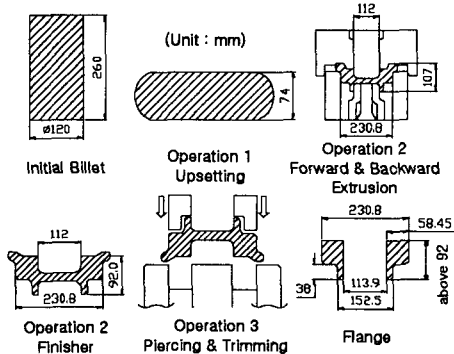


Fig. 1 Production of flange in three operations

2.3 3단계 제작공정의 해석

2.3.1 업셋팅 공정

Fig. 2는 업셋팅 공정의 유효변형률과 다이압 분포를 나타내며, 유효변형률의 최대값은 2.4인 것으로 나타났다. 첫 번째 공정은 소재의 지름을 늘려 다음 공정에서 작업이 원활하게 되도록 성형한다. 업셋팅 시 좌굴을 피하기 위하여는 소재의 길이 대 직경비가 3이하 이어야 안전하며,⁹⁾ 본 논문의 해석 대상은 그 비가 2.17로서 안전한 범위 내에 있다.

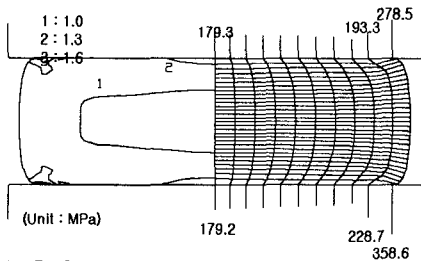


Fig. 2 Deformation patterns for the first-step operation of the conventional process

2.3.2 전·후방 압출 공정

Fig. 3은 2 단계 공정인 전·후방 압출 공정의 해석결과를 보여준다. 제 2단계 공정은 제품의 상하부 높이 및 대략적인 형상을 확보하는 공정으로 행정거리가 61mm이다. 유효변형률은 최대 약 3.59까지 분포를 보이고 있으며, 주로 하형의

굴곡 부위에서 크게 분포한다.

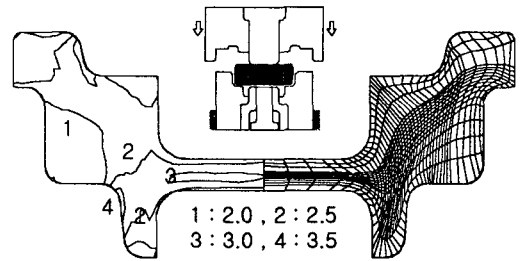


Fig. 3 Deformation patterns for the second step operation of the conventional process

Fig. 4는 기존공정의 하중-행정의 관계를 보여준다. 업셋팅 공정에서 최대하중은 20.3MN (2070.6 tonf)이고 성형에너지는 1.03MJ이 소요되었다. 2단계 공정에서의 최대 성형하중은 38.67MN (3,944 tonf)로서 프레스의 프레임 능력인 4,000 tonf 이내에 있다. 또한, 성형에너지는 0.25MJ이 소요되었다.

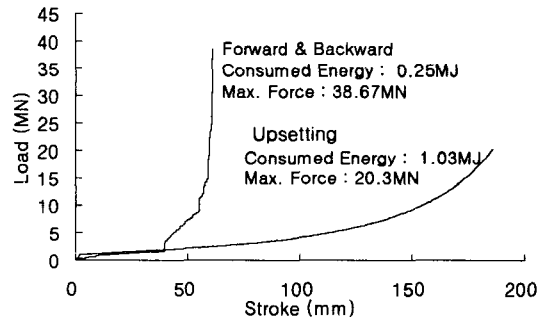


Fig. 4 Load-Stroke relationships for the conventional processes

2.3.3 피어싱과 트리밍 공정

피어싱 공정은 중공축 형상 플랜지를 제작하기 위한 단계로서, 소재를 피어싱 프레스 위의 트리밍 다이에 올려놓고 상부 펀치를 하강시키면서 피어싱과 트리밍 작업이 동시에 이루어진다. 피어싱과 트리밍 공정은 필연적으로 소재의 낭비를 가져오게 된다.

2.4 기존 공정에 대한 고찰

1단계 공정인 업셋팅에서는 다음 공정에서의 작업이 원활하게 진행될 수 있는 치수로 성형이 완료된다. 전·후방 압출 공정은 최종제품의 상하단부 높이를 올바르게 확보하면서 대략적인 최종 형상을 가공한다. neck 부분으로의 유동은 소재가 상형의 측면에 접촉한 이후 본격적으로 이루어

어진다. 이처럼 3단계의 공정으로 이루어져 있는 기존의 공정은 시간이 많이 소요되며, 피어싱과 트리밍으로 버려지는 재료의 낭비가 크다.

3. 새로운 제작공정

3.1 신공정의 제시

새로 시도되는 공정은 기존의 프레스 하중 능력보다 적은 하중으로 성형을 완료하며, 기존의 공정보다 간단한 방법이 설계되어야 한다. 기존 공정은 소재의 낭비와 작업시간이 많이 소요되는 단점이 있다. 따라서, 초기소재를 두께가 두꺼운 중공축 소재로 사용하여 단순히 전방압출공정을 행함으로써 피어싱과 트리밍 공정을 생략한다.

Fig. 5는 단공정으로 작업이 이루어지는 두 가지 새로운 공정의 개념을 보여준다. 그림의 왼쪽은 상금형에 펀치를 고정된 형상이고(Case I), 오른쪽 그림은 하금형에 중심축이 고정 부착된 형태로(Case II) 설계한 것이다.

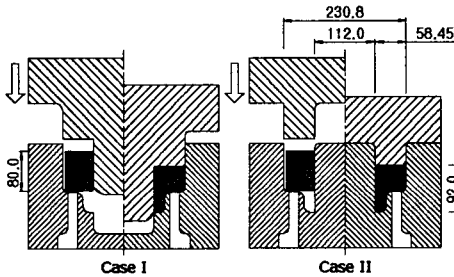


Fig. 5 Possibly one-step forging processes with proposed die 1 (Case I) and 2 (Case II)

3.2 초기 소재의 선정

개선된 공정은 상업용으로 생산되는 살두께가 두꺼운 파이프 형상의 소재를 초기빌렛으로 사용하여 시간의 절약, 재료의 손실, 제품의 결함을 줄일 수 있다. 두께가 두꺼운 중공축 형상의 빌렛 사용으로 재료비 상승의 우려는 있으나, 공정 생략으로 금형 비용의 절약을 기대할 수 있다.

Table 1은 새로운 공정에서 사용되는 중공축 소재를 나타낸 표로 굵은 실선 안의 표시는 실험에 적용 가능한 범위와 적용된 소재의 치수를 나타낸다.^[10]

3.3 새로운 공정의 해석

Fig. 6은 Case I 금형을 사용하여 해석한 결과를 보여 준다. 두 가지 경우의 초기 소재 모두 심한 변형은 플랜지 벵의 모서리 부분에서 발생

한다. 이러한 현상은 소재의 내경이 클수록 더욱 심하게 나타났다. 전체적인 변형 양상과 압력분포 및 최대유효변형률은 거의 비슷하다.

Table 1 Selection of commercially available thick-walled pipes^[10]

Outer diameter (mm)	Wall thickness(mm)											
	30	32	35	37	40	42	46	48	50	54	55	58
141.3	○	○	○	○	○	○	○					
192.0		○	○	○	○	○	○	○	○			
208.0			○	○	○	○	○	○	○	○		
220.0		○	○	○	○	○	○	○	○	●	○	
228.0			○	○	○	○	○	○	○	○	○	●
273.1			○	○	○	○	○	○	○	○	○	○

● : used in simulation, ○ : commercially available

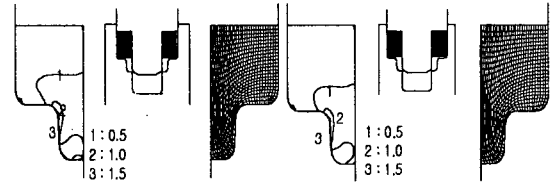


Fig. 6 Deformation patterns of Case I : O.D. 220(left) ; O.D. 228(right)

Fig. 7은 Case II 금형을 사용하여 해석을 시도한 결과이다. 유효변형률 분포 및 하중상태 등 전체적인 변형상태는 앞서의 경우와 매우 유사하게 나타났다. 최대 유효변형률은 두께가 두꺼운 경우가 1.76으로서 가장 적은 수치를 보인다.

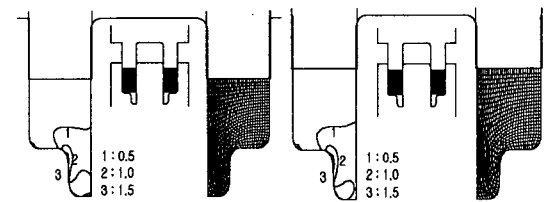


Fig. 7 Deformation patterns of Case II : O.D. 220(left) ; O.D. 228(right)

Fig. 8은 4가지로 시도된 새 공정의 하중-행정 선도로서, Case I, II의 모든 경우 중 최대하중은 32.72 MN(3,337 tonf), 성형에너지는 0.15 MJ 이나 서로간에 거의 비슷한 값이 나타났다.

Fig. 9는 잘못된 초기 소재의 선정으로 인한 재료 유동을 보여준다. 그림의 왼쪽은 소재의 내경이 클 때 내벽에 접힘현상(folding)이 일어날 수 있음을 보여준다. 오른쪽 그림에서와 같이 소재의 외경이 작을 때 내경이 큰 경우와 함께 벵의

끝단에서 접힘에 의한 불량 가능성이 나타난다.

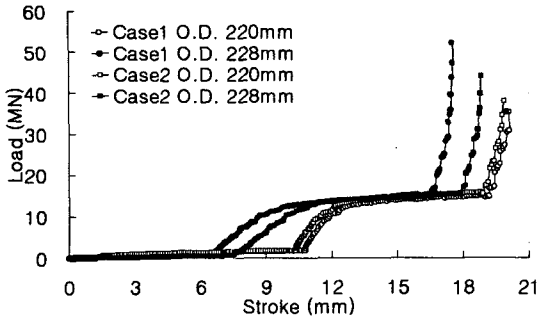


Fig. 8 Load-Stroke relationships for the new processes

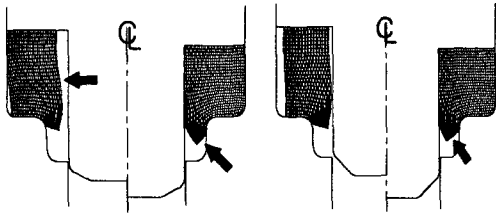


Fig. 9 Possibly undesired metal flow by certain initial billets

3.4 새로운 공정의 고찰

Table 2는 기존공정과 새로운 공정의 두 가지 방안의 모의실험결과를 보여주고 있다. 초기 소재에 따라 새로운 공정에서는 서로간의 하중의 크기가 다소 차이는 있었으나 기존공정에 비해 성형하중이 최대 약 20%정도 작게 나타나 대체적으로 개선된 수치를 나타내고 있다.

Table 2 Comparison data among the processes

	conventional process	Case I		Case II	
		D220, T54	D228, T58	D220, T54	D228, T58
Max. load :MN(tonf)	38.67 (3944)	30.78 (3139)	32.72 (3337)	31.63 (3226)	30.86 (3147)
Max. eff. strain	3.59	1.80	1.79	1.81	1.76
Forming Energy(MJ)	1.28	0.142	0.146	0.15	0.149
No. operation	3	1	1	1	1
No. die	6	2	2	2	2
material waste	much	less	less	less	less
process time	long	short	short	short	short

4. 결론

본 논문은 플랜지의 성형 공정을 기존의 성형 공정과 제안된 성형 공정에 대하여 두 가지 급형

모형으로 모의실험을 행하였다. 기존공정에서의 피어싱 과정을 생략하기 위해 새로운 공정에서는 증공축 소재를 사용하였다. 제시된 새로운 공정의 해석결과는 최대성형하중 등 모든 수치들이 전반적으로 우수함을 보여주었다.

후기 : 본 논문은 인하대학교의 연구비 지원에 의하여 수행되었음.

참고문헌

- (1) Korea Flanges Co. Ltd, 1992, "To Mark Progress Controlled Quality," p. 10.
- (2) G.D. Laboti, T.I. Subramanian and T. Altan, 1978, "Development of Computerized Mathematical Model for the Hot/Cold Nosing of Shells," Technical Report ARSCD CR-7 8019 to U.S. Army Research and Development Command.
- (3) Y. Mihara and W. Johnson, 1997, "Corp loss; front and back end deformation during slab and bloom rolling," Metallurgia and Metal Forming, Vol. 44, p. 332.
- (4) U. Stahlberg, J-O. Soderberg, and A. wallero, 1981, "Overlap at the back and front end in slab ingot rolling," Int. J. Mech. Sci., Vol. 23, pp. 243-252.
- (5) O. C. Zienkewicz, 1977, "The Finite Element Method," 3rd Ed. McGraw-Hill, New York.
- (6) R. Hill, 1950, "The Mathematical Theory of Plasticity," Oxford University Press, London.
- (7) M. Tisza, 1995, "Expert systems for metal forming," J. Matr. Pro. Tech. 33, pp. 57-54.
- (8) Air Force Material Laboratory, 1973, "Forming Equipment, Materials, and Practices," Metal and Ceramics Information Center, p. 164.
- (9) W. H. Cho, 1994, "Press Dies Design Technology," Tech.-Elec. Lab, pp. 347-350.
- (10) Committee of Steel Pipe Producers, 1974, "Design Manual for Structural Tubing," American Iron and Steel Institute, p. 10.