

튜브 인발공정시 압하량 배분에 관한 연구

이동활* · 김동우* · 김대현* · 문영훈*

A Study on Reduction Distribution in Tube Drawing Process

D. H. Lee, D. W. Kim, D. H. Kim and Y. H. Moon

Abstract

In general, tube drawing process is composed of two steps, so called first drawing and second drawing. Drawing cracks are mainly occurred during the 2nd drawing process due to the improper drawing process. In order to analyze the reduction distribution in successive two-step drawing process, tube drawing process was simulated by finite element method. From the finite element analysis, the balance between first and second reduction is proved to be important factor to prevent drawing cracks. Hence the numerical expression was developed for tube drawing process to distribute even strain and criteria curves that can predict the safe drawing region were also proposed using this numerical formula.

Key Words : Electric Resistance Welding (ERW, 전기저항용접), Tube drawing process (인발공정), Reduction of area (압하), Finite Element Method (FEM, 유한요소법)

1. 서론

자동차, 오토바이의 샤프트 및 빔류, 유공압 실린더, 보일러용 강관 및 각종 특수부품에 사용되는 전기저항용접(Electric Resistance Welding : 이하 EWR 라 표기) 강관은 제품 사이즈의 정밀성, 다양성, 가공성 및 다양한 기계적 화학적 성질을 요구하므로 주로 소량 다품종의 특수용도에 많이 사용되고 있다. 종전에는 주로 이음매 없는 (seamless) 강관을 적용하였던 부품도 근래에 와서는 edge 처리기술, 성형기술, 용접기술, 내면비드 제거기술, 설비기술 및 비파괴 검사기술의 발달로 고강도, 후육(두께/관의 직경 = 25% 정도) ERW 강관이 개발되어 낮은 생산단가로 양호한 인발성능 및 부품 제조시, 보다 작은 직경의 정밀 강관의 제조를 위해 인발가공을 하는 경우가 많은데 여

러가지 강관 인발 공정 중 플러그를 사용하여 인발하게 되면 강관 내외면의 직경이 잘 제어된다. 플러그로는 주로 원주형 또는 콘형이 사용되며 플러그는 내경부의 형상을 결정한다. 상기 공정의 건전성과 제품 신뢰성을 결정짓는 가장 중요한 인자는 ERW 용접부의 건전성이다. 인발강관에서 검출되는 용접부 결함은 인발공정 이전에 이미 존재하는 ERW 용접부의 결함에 기인할 수도 있으며 상대적으로 건전한 ERW 용접강관임에도 불구하고 인발공정상의 문제 때문에 인발강관의 용접부 결함이 발생할 수도 있다.

최적 ERW 용접조건에 의한 다양한 형상의 부품을 제조하기 위해서는 높은 인발한계를 갖는 ERW 강관이 필수적으로 요구되므로 이러한 고성능 강관의 제조를 위한 최적 ERW 조건의 정립 및 검증이 필요하다.

* 부산대학교 정밀기계공학과

인발강관에서 검출되는 용접부 결함은 인발공정 이전에 이미 존재하는 ERW 강관 용접부내의 잔존 결함에 기인할 수도 있고, 인발공정시 부적절한 조업으로 인해 인발강관의 용접부 결함이 발생할 수도 있다. 따라서 본 논문에서는 ERW 용접강관 인발균열 발생기구를 규명하고 균열예측지표를 제안하는 것이다

2. 인발균열 원인분석

유한요소해석을 통해 인발튜브의 max effective strain 값을 각 공정별로 비교해 보았다. 유한요소해석은 FEM 패키지인 DEFORM 2D V7.2 를 사용하였고 해석조건은 Table 1 과 같다.

Table 1 Input values for FEM

Contents	Conditions
Material	STKM 11A (0.12 carbon steel)
Drawing Speed	10 mm/s
Coulomb Friction Factor	0.15
Number of Mesh	1000

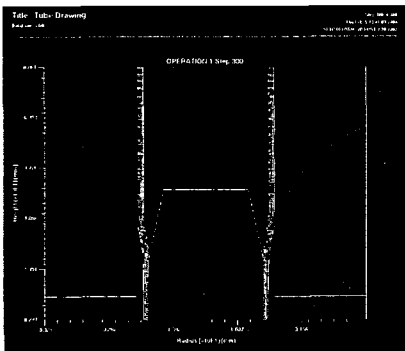


Fig. 1 FEM modeling for tube drawing making process

소재의 인발방향인 y축을 축대칭으로 하여 실제 공정에 적용중인 치수를 기준으로 설계하였다. 모델을 설계하여 시뮬레이션 진행과정을 Fig. 1에 나타내었다. 최종목표치수에 한번의 공정으로 인발했을 때 소재에 너무 큰 응력이 발생하여 크랙이 발생하게 된다. 따라서 총 2차에 걸쳐서 인발공정은 진행되고 1차 인발시 소재의 치수는 초기 소재치수와 최종제품치수의 1/2로 설정하였다. 하

지만 1차 인발시 나타나는 결함은 ERW 공정시 용접부 잔존결함이 인발시 거시균열로 성장하여 나타나는 결함이지만 열처리를 거친 후 실시하는 2차 인발시에 나타나는 결함은 부적절한 인발공정에 기인한다고 볼 수 있다.

Table 2 Comparison of max effective strain (target tube size : 22.0 X 1.0)

Strain	Size	27.2	27.2	25.4
	X 1.8	X 1.6	X 1.6	X 1.6
FEM	1 st	1.0200	0.9056	0.7337
	2 nd	1.4633	1.0684	1.0140

Table 2에서 FEM을 이용하여 얻은 튜브 인발소재의 max effective strain값을 나타내었다.

Table 2에서 알 수 있듯이 1차 인발시보다 2차 인발시 소재에 strain 값이 커서 균열이 발생함을 예측할 수 있다. 따라서 1차 인발시와 2차 인발시의 압하율을 균등하게 배분할 필요성이 있다.

3. 작업표준 수식모델

1 차 인발과 2 차 인발시의 압하율 균등배분을 위해 수식모델링을 개발하여 적용시켰다. Fig. 2 는 각 인발공정 단계에서의 치수이고 인발공정 작업표준 수식모델은 다음과 같다

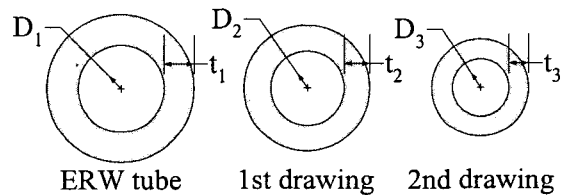


Fig. 2 Sequential variation of tube size

Table 3 Tube size at each tube drawing process

	ERW tube	1st drawing	2nd drawing
Diameter	D_0	D_1	D_2
Thickness	t_0	t_1	t_2
Area	A_0	A_1	A_2

인발시 총압하량 : $\varepsilon_i = \ln \frac{A_0}{A_2}$

1 차 인발 압하량 : $\varepsilon_1 = \ln \frac{A_0}{A_1}$

2 차 인발 압하량 : $\varepsilon_2 = \ln \frac{A_1}{A_2}$

여기서, $A_0 = \frac{\pi}{4} [D_0^2 - (D_0 - 2t_0)^2]$

$$A_1 = \frac{\pi}{4} [D_1^2 - (D_1 - 2t_1)^2]$$

$$A_2 = \frac{\pi}{4} [D_2^2 - (D_2 - 2t_2)^2]$$

1 차 인발 압하량이 2 차 인발 압하량과 동일하게 설정하기 위한 조건은,

$$\varepsilon_1 \left(= \ln \frac{A_0}{A_1} \right) = \varepsilon_2 \left(= \ln \frac{A_1}{A_2} \right)$$

따라서, $A_0 \cdot A_2 = A_1^2$ (1)

식 (1)은 다음의 식 (2)로 나타낼 수 있다.

$$\left\{ \frac{\pi}{4} [D_1^2 - (D_1 - 2t_1)^2] \right\}^2 = \left(\frac{\pi}{4} \right)^2 [D_0^2 - (D_0 - 2t_0)^2] [D_2^2 - (D_2 - 2t_2)^2] \quad (2)$$

식 (2)를 정리하면 식 (3)을 얻는다.

$$\begin{aligned} [D_1^2 - (D_1 - 2t_1)^2]^2 &= 16t_0t_2(D_0 - t_0)(D_2 - t_2) \\ (D_1t_1 - t_1^2)^2 &= t_0t_2(D_0 - t_0)(D_2 - t_2) \end{aligned} \quad (3)$$

C 를 $C = \sqrt{t_0t_2(D_0 - t_0)(D_2 - t_2)}$ 라 두면 식 (3)은 식 (4)와 같다.

$$D_1t_1 - t_1^2 = C \quad (4)$$

1) 만약 1 차 인발시 평균직경 $\left(D_1 = \frac{D_0 + D_2}{2} \right)$ 을 기준으로 최적두께를 구하려면, 식 (4)로부터

$$t_1 = \frac{D_1 - \sqrt{D_1^2 - 4C}}{2}$$

2) 만약 1 차 인발시 평균두께 $\left(t_1 = \frac{t_0 + t_2}{2} \right)$ 를 기준으로 최적직경을 구하려면, 식 (4)로부터

$$D_1 = \frac{C + t_1^2}{t_1}$$

4. 결과 및 고찰

Table 4 는 작업표준 수식모델을 이용하여 각 치수별로 최적 직경과 두께를 구한 후 그에 따른 압하량을 구한것으로 1 차 인발과 2 차 인발시의 압하량이 동일하게 나타난다. 이 값은 평균 직경을 기준으로 하여도 똑같은 결과를 얻을 수 있다.

Table 4 Tube size at each tube drawing process

	size	D ₁	t ₁	ε ₁ = ε ₂
diameter	27.2 x 1.8	24.6	1.33	0.389
	27.2 x 1.6	24.6	1.26	0.334
	25.4 x 1.6	23.7	1.26	0.297
thickness	27.2 x 1.8	23.5	1.4	0.389
	27.2 x 1.6	23.9	1.3	0.334
	25.4 x 1.6	23.1	1.3	0.297

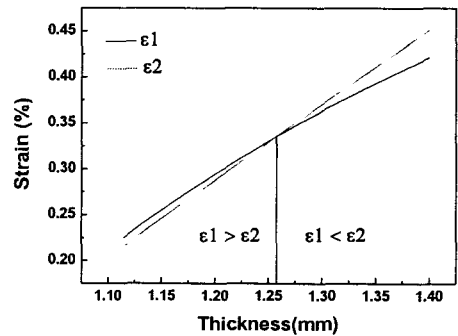


Fig. 3 Setting thickness for 1st tube drawing (ERW tube size : 27.2 x 1.6)

또한 평균직경을 기준으로 했을 때의 최적 두께와 평균 두께를 기준으로 했을 때의 최적 직경을 Fig. 3 과 Fig. 4 에서 1차 인발과 2차 인발시의 압하율 추이를 나타내었다. 기존에 단순히 치수를 1/2 로 하였을 때의 직경과 두께에서의 strain 은 2차 인발시에 더 높게 나타남을 그래프에서 확인할 수 있고 평균직경을 기준으로 두께에 따른 1차 인발시의 압하율과 2차 인발시의 압하율은 큰 차이가 나타나지 않았으나 평균두께를 기준으로 직경에 따른 1차 인발시의 압하율과 2차 인발시의 압하율의 차이는 크게 나타났다.

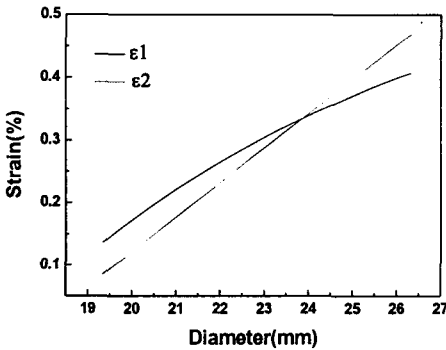


Fig. 4 Setting Diameter of 1st tube drawing (ERW tube size : 27.2 x 1.6)

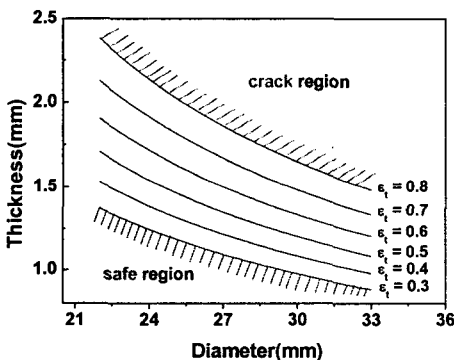


Fig. 5 Drawing limit according to material strain (target tube size : 22.0 x 1.0)

Fig. 5 는 재료의 스트레인 값에 따른 튜브 소재의 치수를 나타내고 있다. 목표로 하는 튜브의 치수가 22.0 x 1.0 이고 재료의 스트레인 값과 초기 치수만 알고 있으면 인발시 소재의 파단여부를 예측할 수 있다.

5. 결 론

인발시 압하율 배분을 위하여 수식모델링을 개발하여 적용하였고 이를 토대로 예측지표와 인발한계도를 작성하였다.

(1) 2차 인발시 균열은 건전한 용접부가 1차 인발과 2차 인발의 압하율 unbalance 로 인해 나타나는 것으로 부적절한 인발조건이 주원인이다.

(2) 인발공정 해석결과 나타난 압하율 unbalance 를 해결하기 위한 인발조건 설정모델을 제안하여 적용하였다.

(3) 인발작업표준 수식 모델링을 이용하여 ERW 용접강관 인발균열 예측지표를 제안하였다

후 기

본 연구는 산업자원부지정 신뢰성분석 연구센터에서 시행한 신뢰성향상사업의 연구결과로서 이에 관계된 여러분께 감사드립니다.

참 고 문 헌

- (1) Naksoo Kim, Byungseok Kang, Seungyeon Lee, 2003 "Prediction and design of edge shape of initial strip for thick tube roll forming using finite element method", Journal of Materials Processing Technology 142 pp 479~486
- (2) Feng Yaorong, Li Helin, Zhang Pingsheng, Du Baiping, Ma Baodian, Jin Zhihao, 2001 "Failure analysis and fitness-for-service assessment for a pipeline", Engineering Failure Analysis 8 pp 399~407
- (3) 서정형, 1999 "고장력 강재의 전기저항 용접부 열처리 특성 및 기술에 대한 연구" 대한용접학회지 제 17 권, 제 1 호, pp 79~90