

감합고리들의 합리적인 조임률설정에 대한 연구

전일진, 리영섭

위대한 령도자 김정일동지께서는 다음과 같이 교시하시였다.

《과학연구사업을 더욱 강화하여 세포공학과 유전자공학, 초고압물리학, 극저온물리학을 발전시키며 레이자와 플라즈마기술, 원자에너지와 태양에너지를 개발하여 인민경제에 받아들이는데서 나서는 과학기술적문제를 적극 풀어나가야 하겠습니다.》(《김정일선집》증보판 제11권 139페이지)

초고압발생장치에서는 작업압력이 증가되고 공이 혹은 초고압용기가 파괴되는것을 막기 위하여 초고압용기나 공이에 안으로 향하는 압축응력이 작용하도록 외면을 강한 쇠줄로 당겨 동여매거나[2] 감합고리[3]를 끼운다. 감합고리들의 조임률이 너무 크면 감합과정에 감합고리들이 파괴된다.

우리는 ANSYS응용프로그램을 리용하여 감합고리의 합리적인 조임률을 결정하였다.

1. 감합고리들의 응력분포해석

정적초고압발생장치제작에서는 작업압력에 의한 공이의 파괴를 막기 위하여 감합고리의 내부원기둥의 외면반경이 외부원기둥의 내면반경보다 조금 큰 상태에서 조립한다. 이때 원기둥형감합고리들의 내부에는 당김 및 압축응력들이 발생한다.

응력의 크기는 다음의 식으로 계산되는 조임률(%)에 관계된다.

$$\delta_i = \frac{R_i - R'_{i+1}}{R_i} \times 100 \quad (1)$$

여기서 R_i 는 i 번째 원기둥체의 외면반경이며 R'_{i+1} 는 $i+1$ 번째 원기둥체의 내면반경이다.

감합고리들의 조임률이 적합하지 못하면 고리내부에 발생하는 지나친 응력으로 하여 고리가 파괴되어 공이를 보호할수 없다.

공이를 보호할수 있는 적합한 조임률들을 구하자면 조임률에 따르는 감합고리내부에서의 응력분포를 알아야 한다.

유한요소해석응용프로그램 ANSYS[4]를 리용하여 감합고리내부에서의 응력분포를 계산하였다.

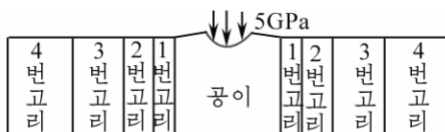


그림. 홈모루형초고압발생장치의 세로자름면구조모형

공이와 1-4번고리의 직경은 각각 52, 64, 104, 180, 270mm

조임이 없는 홈모루형초고압발생장치의 세로자름면구조모형은 그림과 같다.

초고압발생장치구조모형에서 가상적인 열팽창에 의한 감합고리들의 조임을 실현하였다.

가상적인 열팽창은 다음과 같이 실현하였다.

조임률 δ 가 주어졌을 때의 감합고리의 외면반경은 다음과 같다.

$$R_1 = R_0 \left(1 + \frac{\delta}{100} \right) \quad (2)$$

여기서 R_1 은 안고리의 외면반경, R_0 은 그다음 고리의 내면반경이다.

가상적인 열팽창에 의한 감합고리의 외면반경은 다음과 같다.

$$R_1 = R_0(1 + \alpha \cdot \Delta T) \quad (3)$$

식 (2), (3)으로부터 조임률에 대한 가상열팽창온도를 구하면 다음과 같다.

$$\Delta T = \frac{\delta}{100 \cdot \alpha} \quad (4)$$

계산의 편의를 위하여 가상열팽창계수를 $\alpha = 10^{-2} \text{K}^{-1}$ 으로 하였다.

그림과 같은 초고압발생장치에서의 응력분포를 계산하기 위한 력학적상수들은 표 1과 같다.

표 1. 초고압발생장치부분품들의 력학적상수들

지표	공이(경질합금)	1-3번고리들(열처리강)	4번고리(연강)
탄성률(E)/GPa	600	260	210
팽창계수(ν)	0.22	0.26	0.3

응력분포계산결과는 감합고리들의 모든 부위에서 동경방향의 응력 σ_r 는 압축응력상태에 있으며 각방향의 응력 σ_θ 들을 보면 1번고리에서는 압축응력상태에, 2번고리에서는 1번고리와 접하고있는 부분에서는 당김응력상태에 있으며 3번고리와 접하고있는 부분에서는 압축응력상태에, 3번고리와 4번고리들은 모두 당김응력상태에 있다는것을 보여준다.

또한 공이의 홈근방에 응력이 집중되므로 동작과정에 파괴는 이 구역에서 발생하며 고리들의 내경근방의 응력이 외경근방에서보다 크므로 내경근방에서부터 파괴가 일어난다는것을 알수 있다.

이 응력분포계산결과는 선행연구결과[1]와 일치한다.

2. 감합고리들의 합리적인 조임률설정

미제스류동조건에 의하면 응력의 세기 σ_i 의 값이 재료의 류동한계 τ_s 와 다음과 같은 관계를 만족시키는 값에 이르면 소성변형이 진행된다.

$$\sigma_i = \sqrt{3} \tau_s \quad (5)$$

열처리강에 대한 응력의 세기값 1.5GPa에 기초하여 감합고리들의 합리적인 조임률들을 결정하였다.

감합고리들의 응력분포해석결과는 1, 2, 3번고리들에서 파괴가 일어날수 있다는것을 보여주는데 그중에서도 1, 2번고리들에서 응력세기가 크므로 1, 2번고리들에서의 조임률 δ_1, δ_2 들에 따르는 응력의 세기계산결과들만을 기본으로 보았다.

조임률에 따르는 감합고리들에서의 최대응력의 세기는 표 2와 같다.

표 2로부터 1번고리와 2번고리들의 조임률을 각각 0.3, 0.3%정도로 하는것이 합리적이라는것을 알수 있다.

표 2. 조임률에 따르는 감합고리들에서의 최대응력의 세기(GPa)

$\delta_1/\%$	$\delta_2/\%$	공이	1번 고리	2번 고리	3번 고리	4번 고리
0.2	0.2	3.2	1.1	1.2	1.1	0.98
	0.3	3.0	1.2	1.5	1.2	1.01
	0.4	2.8	1.3	1.8	1.3	1.04
0.3	0.2	2.7	1.3	1.3	1.2	1.01
	0.3	2.8	1.4	1.6	1.3	1.04
	0.4	2.7	1.5	2.0	1.4	1.07
0.4	0.2	2.8	1.6	1.5	1.2	1.04
	0.3	2.7	1.8	1.9	1.3	1.06
	0.4	2.6	2.0	2.3	1.4	1.08
0.5	0.2	2.7	2.0	1.7	1.3	1.05
	0.3	2.8	2.1	2.0	1.4	1.08
	0.4	2.8	2.2	2.3	1.5	1.11

맺 는 말

조임에 의하여 발생하는 감합고리들의 응력분포를 ANSYS유한요소해석프로그램으로 계산하기 위한 가상적인 열팽창을 도입하였으며 1번고리와 2번고리들의 조임률을 각각 0.3, 0.3%정도로 하는것이 적합하였다.

참 고 문 헌

- [1] Н. В. Новиков и др.; Сверхтвёрдые материалы, 2, 17, 1985.
- [2] Junfei Wu et al.; Applied Mechanics and Materials, 552, 8, 2014.
- [3] G. S. Bobrovnichii et al.; Int. J. Refractory Metals & Hard Materials, 21, 251, 2003.
- [4] A. I. Borovkov et al.; Proc. 10th Int. ANSYS'2002 Conf., 21, 2002.

주체105(2016)년 11월 5일 원고접수

On the Estimation of the Proper Clamping Rates of the Clamping Rings

Jon Il Jin, Ri Yong Sop

We have introduced the virtual thermal expansion in the calculation of the stress distribution of the multi layer-clamping rings using ANSYS program. As a result of the calculation, it was found that the clamping rate with 0.3% was the most proper.

Key words: super high pressure, multi layer-clamping ring