

마찰계수를 고려한 스파이크 단조 시험의 변형 특성에 관한 고찰

한완희, 허용정*

한국기술교육대학교 대학원, 한국기술교육대학교

메카트로닉스공학부*

wani@kut.ac.kr, yjhuh@kut.ac.kr*

A Study on Deformation Behavior due to Variation of the Friction Coefficient in Spike Forging Test

Wan Hee Han, Yong Jeong Huh*

Graduate School KUT, School of Mechatronics Engineering KUT*

요 약

단조 성형공정의 공정변수 중에 소재와 금형과의 마찰과 성형품과의 관계를 알아보기 위해 마찰계수 결정 프로그램을 제작하여 링 압축 시험을 통해 마찰조건별 마찰계수를 구하였다. 금속 성형공정에 있어서 널리 응용될 수 있는 스파이크 단조 공정을 통해 단조 공정에서 시편과 금형사이의 마찰조건과 성형품의 형상과의 관계를 시험을 통해 규명하고, 소성가공 전문 해석프로그램 DEFORM을 사용하여 마찰조건에 따른 해석을 수행하여 시험과 해석의 결과를 토대로 단조 성형공정변수의 하나인 마찰에 대하여 고찰하였다.

1. 서 론

일반 기계 가공과 비교할 때 단조를 비롯한 소성가공의 중요한 특징은 소재의 손실을 최소화 하면서 원하는 제품을 가공하는 것이라 할 수 있다.^[1]

일반적으로 성형공정 설계에서는 제품 성형 공정수, 소재 및 금형의 가열 온도, 성형속도, 금형과 소재의 마찰 등의 공정변수들을 고려하여야 한다. 열간 공정인 경우 금형과 소재의 마찰이 공정에 미치는 영향은 다른 공정 변수들에 비하여 크지 않기 때문에 설계시 크게 고려되지 않았다. 하지만 온간 단조의 경우에는 금형과 소재의 마찰이 제품 성형에 직접적인 영향을 미치게 된다.^[2]

따라서 본 연구에서는 WD4와 파우더를 윤활제로 사용하여 각 윤활제의 마찰 계수를 비주얼 베이직(Visual Basic)을 사용하여 구성한 마찰계수결정 프로그램과 링 압축 시험의 통해 구하였다. 각 윤활제를 금형의 상부와 하부, 금형의 하부 그리고 무윤활 조건에서 스파이크 단조를 시행하였다. 시편의 압축 시험을 통해 재료 물성치를 구하여 단조 시험과 같은 마찰 조건으로 소

성가공 해석 프로그램 DEFORM을 사용하여 컴퓨터 시뮬레이션을 하였다. 네 가지 마찰 조건으로 시험과 해석을 통하여 데이터를 비교, 분석하여 성형공정의 공정변수들 중에 마찰을 고려한 스파이크 단조 성형품에 변형특성에 대하여 고찰하였다.

2. 시험 방법

2.1 시편 제작

시험에 사용한 단조 시험기의 최대 출력이 크지 않아 경한 재료를 사용하게 되면 압축이 제대로 되지 않기 때문에 스파이크 단조(spike forging) 시험으로 사용할 시편을 납(Pb) 70%와 주석(Sn) 30%로 조성된 경납을 녹여 치수 $\phi 38.8(mm) \times 40mm$ 로 가공 하였다.

마찰계수 측정에 사용하기 위해 외경(d_0), 내경(d_i), 높이(h)의 비가 6:3:2인 링 형상의 시편을 같은 경납을 사용하여 제작 하였다.

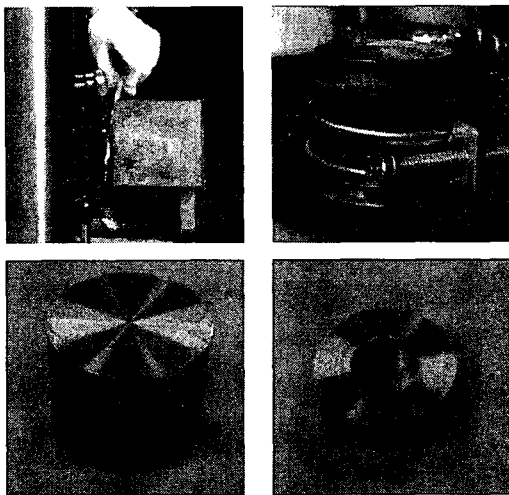


그림1 시편 제작

2.2 압축 시험(compression test)

재료의 기계적 성질을 나타내는 응력-변형을 관계를 알기 위해 높은 변형까지 실험이 가능한 압축 시험을 실시하였다.

시험의 결과 유효 응력($\bar{\sigma}$)과 유효 변형률($\bar{\epsilon}$)은 다음 식에 의해 구해진다.

- 유효 응력($\bar{\sigma}$)

$$\bar{\sigma} = load / area = P / \frac{\pi}{4} d^2$$

- 유효 응력($\bar{\epsilon}$)

$$\bar{\epsilon} = \ln(h_0 / h)$$

여기서 P는 압축 하중, d는 시편 직경, h는 현재의 시편 높이, h₀는 원래의 시편 높이이다. 이와 같은 방법으로 계산된 데이터를 최소 자승법(least square method)을 이용하여 곡선 맞춤(curve fitting)하여 다음과 같은 응력-변형률 관계를 표1에 나타내었다.

표1 순납과 시편(경납)의 응력-변형률 관계

순납		Pb(70%)+Sn(30%)		계산값
변형률	응력	변형률	응력	순납응력*4
0.05	11	0.05	46.2	44
0.1	16	0.1	62.77	64
0.15	18.5	0.15	72.02	71
0.2	19.5	0.2	64.16	76
0.25	19.7	0.25	92.75	73.8

2.3 링 압축 시험(ring compression test)

마찰 계수 m을 측정하기 위해 널리 인정받고 있는 마찰계수 측정법들 중 하나인 링 압축 시험법을 이용

하여 마찰계수를 측정하였다. 평판 사이에서 시편의 압축 시험을 통해 높이 변화에 따른 내경의 변화를 측정하여 마찰계수 보정곡선(friction factor calibration curve)과 비교하여 적당한 m값을 구하는 것이 일반적이나, 이번 연구에서는 그림2와 같은 마찰계수결정 시스템을 개발하여 사용하였다. 마찰계수결정 프로그램은 비주얼 베이직을 사용하여 제작되었으며, 변형전과 변형후의 링 형상 치수를 입력하면 바로 마찰계수를 구해주는 프로그램이다. 시편의 윤활은 주위에서 쉽게 구할 수 있는 WD4와 파우더를 사용하여 시험하였다. 시험 결과 WD4 윤활시에 m=0.09, 파우더 윤활시 m=0.20, 무윤활시(dry) m=0.14 로 나왔다.

표2 무윤활과 WD4 윤활시 마찰계수 측정

Dry (마찰계수:0.14)			윤활유(마찰계수:0.09)		
D(외경)	d(내경)	H(높이)	D(외경)	d(내경)	H(높이)
24	12	7.35	24	12	8.3
30	9.1	4.3	31	10.4	4.6

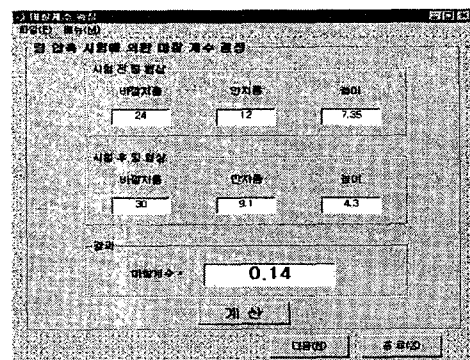
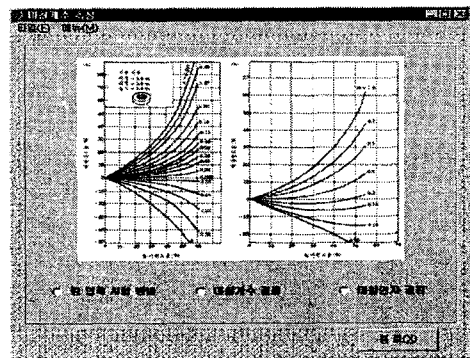


그림 2 마찰계수 결정 시스템

2.4 스파이크 단조(spike forging)

그림3의 금형을 이용하여 상부 금형을 125(kg/Cm²)

압력으로 압축하여 시험을 하였다. 아래의 표3과 같이 링 압축 때와 동일한 윤활제를 사용하여 마찰 조건별로 네 번의 시험을 시행하였다.

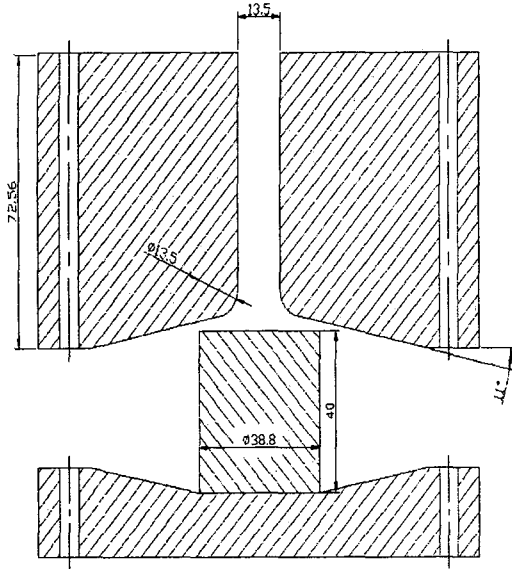


그림3 스파이크 단조 Die & 시편

표3 시험별 마찰 조건

순번	시편(mm)		조건	마찰계수	압축비(%)
	높이(H)	외경(D _o)			
1	40	38.8	윤활제	0.09	125
2	40	38.8	윤활제	0.09 0.14	125
3	40	38.8	윤활제	0.14	125
4	40	38.8	윤활제	0.14 0.20	125

3. 시험 결과 분석

금형과 시편의 마찰 조건에 따른 스파이크 단조의 높이 변화를 측정한 결과 표4와 같은 결과를 얻었다. 결과에서 보이는바와 같이 시편과 금형의 마찰이 단조품의 형상에 중요한 요인인 것을 확인할 수 있다. 시험 결과 마찰계수가 클수록 성형품의 높이는 커지지만 성형품 둘레의 표면이 갈라지는 현상을 보였다.

표4 각 조건별 시편의 변화

순번	시편(mm)				조건	마찰계수	압축비(%)
	높이(H)	높이(H)	외경(D _o)	외경(D _o)			
1	40	38.85	38.8	38.5	윤활제	0.09	125
2	40	21.55	38.8	70.08	윤활제	0.09 0.14	125
3	40	27.86	38.8	76.45	윤활제	0.14	125
4	40	22.75	38.8	77.2	윤활제	0.14 0.20	125

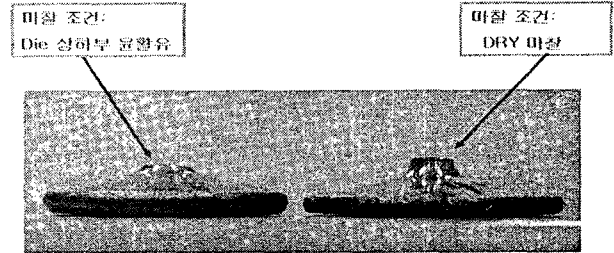


그림 4 마찰 조건별 시편의 형상

4. 컴퓨터 시뮬레이션

소성가공, 성형공정을 시뮬레이션하는 FEM 프로그램인 DEFORM 2D를 사용하여 스파이크 단조 공정을 해석하였다.

4.1 해석방법

4.1.1 금형 모델링

스�파이크 단조 금형을 보면 축 대칭 모델이므로 금형의 1/2를 DEFORM 2D에 내장된 전처리기를 이용하여 모델링하였다.

4.1.2 해석 조건 선정

앞에서 압축 시험으로 구한 경납의 물성치와 DEFORM에 내장되어 있는 순납의 응력-변형률 곡선을 비교하여 순납의 응력-변형률 곡선에 정수 4를 곱하여 물성치를 적용하였다.

금형과 시편의 마찰계수는 윤활 방법에 따라 링 압축 시험을 통해 구한 3가지 마찰 계수를 적용하였다.

금형 상판이 시험에서 밀고 내려온 길이를 측정하여 일정 압력으로 26mm를 100step으로 나누어 해석하였다.

4.2 해석 결과 및 분석

시험과 동일한 마찰 조건으로 해석을 해보았다. 마찰 조건별 시편의 높이를 변화를 시험을 통해 얻은 값과 해석을 통해 얻은 값을 비교하여 표5에 나타내었다.

표5 실험값과 해석값 비교

순번	조건	실험값(높이)	해석값(높이)
1	윤활유 전체	18.85 mm	24.56mm
2	윤활유 다만 상부	21.05mm	25.73mm
3	드라이	22.06mm	26.00mm
4	피우더 시험 후반	22.25mm	27.057mm

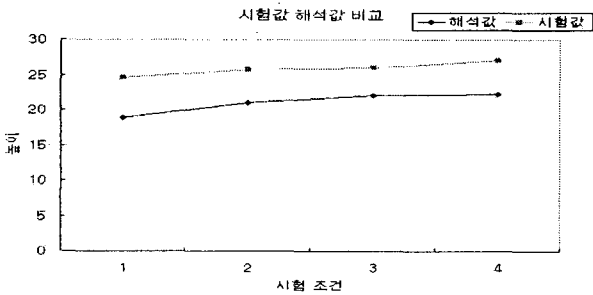


그림 5 시험값과 해석값 비교 그래프

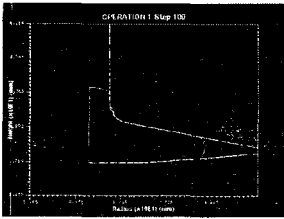


그림 6 마찰조건 I

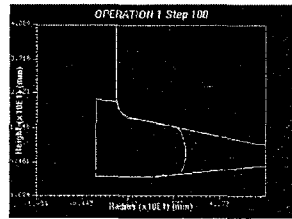


그림 7 마찰조건 II

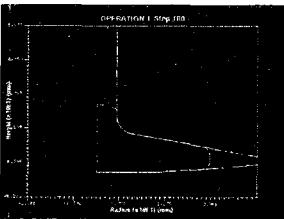


그림 8 마찰조건 III

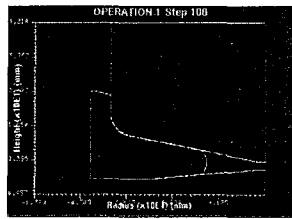


그림 9 마찰조건 IV

5. 결론

본 연구에서는 단조 가공 중 하나인 스파이크 단조를 통해 단조 금형과 시편의 마찰조건 변화 주어진 성형품의 형상을 시험과 해석을 통해 연구하여 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1) 마찰계수가 $m=0.09$ 일 경우 높이가 시험값 18.85mm, 해석값 24.56mm으로 $m=0.14$ 일 때 시험값 22.06mm, 해석값 26.00mm와 비교할 때 상당히 작은 값이 나오는걸 알 수 있다. 따라서 마찰계수가

클수록 성형품의 높이가 높아지는 것을 알 수 있었다.

2) 링 압축 시험으로 구한 마찰 조건별 마찰 계수가 커질수록 금형과 소재간의 접촉면에서 재료가 바깥 방향으로 유동하는 반대 방향으로의 마찰이 크게 작용하기 때문에 성형품 둘레의 표면이 심하게 갈라지는 현상이 나타난다.

3) 마찰계수결정 프로그램을 작성하여 기존에 마찰 계수 보정곡선과 비교하여 마찰계수를 수작업으로 구하는 과정을 자동화하였으며 더나가 해석 프로그램에 마찰계수를 자동 입력해주는 기능을 추후 연구를 통해 추가할 예정이다.

4) 시험값과 해석값이 차이나는 이유로는 경납의 응력-변형률 곡선을 DEFORM에 내장되어 있는 순납의 응력-변형률 곡선과 비교하여 순납의 응력-변형률 곡선에 정수 4를 곱하여 해석시 재료 물성치로 사용하여 나타난 결과 생각된다.

참고문헌

[1] 정동원, "유한요소법을 이용한 원통형 강편의 자유단조 해석" 한국해양공학회지 제16권 제6호, pp. 49~54, 2002
 [2] 정덕진, 김동진, 김병민, "온간 단조에서 윤활 분사 방법에 따른 마찰 상수값 평가" 한국소성가공학회지 제10권 제4호 pp. 319~328, 2001
 [3] 오학균, "소성가공에서의 Tribology" Journal of the KSLE pp. 6~14, 1988
 [4] 박용복, "곡면 형상을 가진 금형에 대한 축대칭 단조의 유한 요소 해석" 한국과학기술원학위논문, 1987
 [5] 김낙수, 김형종 "소성가공과 해석" 문운당, 2002