

마이크로 스프링 제작을 위한 마이크로 와이어 프레스가공 해석연구 Finite Element Analysis of Micro Wire Forming with Press Dies for Micro Spring

##강정진¹, 홍석관¹, 전병희², 고귀현³, 양승진³, 표창률³

*J. J. Kang(doublej@kitech.re.kr)¹, S. K. Hong¹, B. H. Jeon², K. H. Koh³, S. J. Yang³, C. R. Pyo³

¹한국생산기술연구원 정밀금형팀, ²인덕대학 기계설계전공, ³주세한마이크로텍 기술연구소

Key words : Micro spring, micro wire, metal forming, press die, finite element analysis

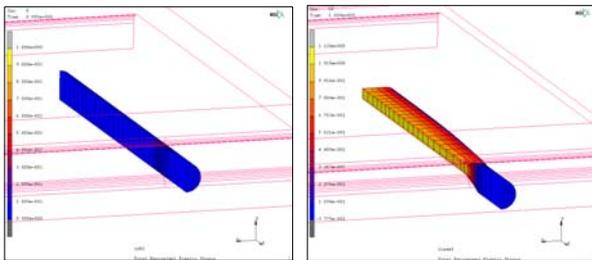
1. 서론

II, NI, BT 분야에서 각종 소자의 초소형화와 함께 고집적화에 대한 필요성이 점차 커지면서, 관련 분야에서 기계 부품의 하나로써 마이크로 스프링에 대한 수요가 증가하고 있다. 추성일 등[1]은 bulk micromachining 및 electroplating 중심의 MEMS 공정을 이용한 마이크로 스프링의 제작과 아울러, 그것의 기계적 특성에 관한 해석 및 실험을 수행한 바 있다. 일반적으로 프레스금형 기반의 소성가공은 생산성이 가장 좋은 공정 중 하나이다. 본 연구에서는 마이크로 와이어를 원소재로 하여 마이크로 스프링에 대한 프레스가공기술을 개발하는 과정에 있어, 해당 프레스성형공정을 효과적으로 시뮬레이션할 수 있는 유한요소해석기법을 마련하고자 한다.

마이크로 와이어에 대한 단조공정해석을 통하여 마이크로 와이어 성형공정해석에 적합한 마찰모델 및 마찰인자에 대한 고찰을 수행한다. 다음으로 특정 형상의 마이크로 스프링 제작을 위한 단조 및 굽힘 복합성형공정에 대한 해석을 통하여 변형률 분해법 선정의 영향, 유한요소의 크기 및 개수가 스프링백 해석결과에 미치는 영향을 평가한다. 아울러 마찰인자의 변화에 따른 스프링백 예측결과의 변동 경향을 살펴본다.

2. 마이크로 와이어 단조 시뮬레이션

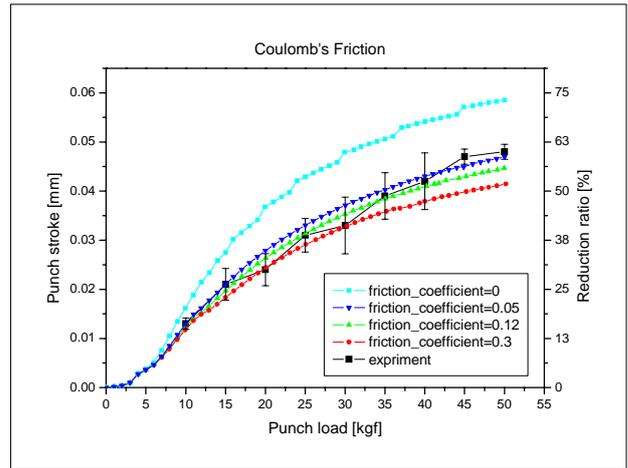
마이크로 스프링의 프레스 가공에 대한 시뮬레이션을 수행할 때에, 적절한 마찰 모델 및 마찰 상수를 결정하기 위하여 마이크로 와이어에 대한 단조 시뮬레이션을 수행하였다(Fig. 1). 마이크로 와이어의 직경은 0.08mm이며, 길이 방향(축 방향)으로 2mm를 단조 성형한다. 마이크로 와이어는 팔라듐(Palladium) 계열의 합금으로 탄성계수는 117GPa, 초기항복응력은 618MPa로 설정하였다. 본 성형해석에는 MSC.Marc를 사용하였다.



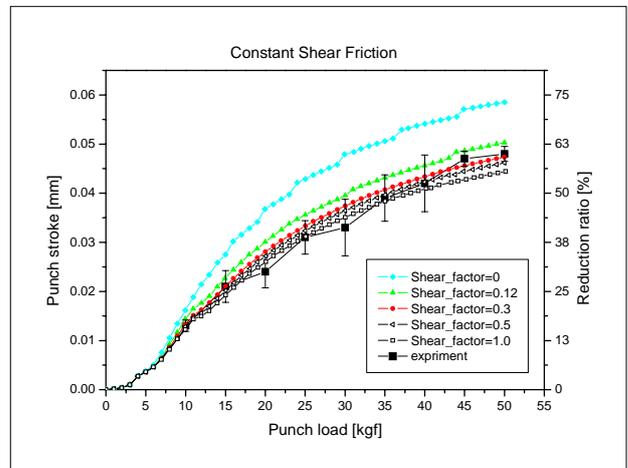
(a) Initial shape (b) Deformed shape
Fig. 1 Forging process simulation of micro-wire

본 해석에는 마찰 모델로서 일반적으로 많이 사용되는 Coulomb 마찰(Coulomb's friction law)과 일정 전단 마찰(constant shear friction law)을 적용하였다. Fig. 2는 각 마찰 모델에 기초한 단조 시뮬레이션에 의해서 예측된 변위-하중 곡선을 실험 결과와 함께 보여주고 있다. 실제 실험은 윤활을 하지 않은 상태에서 수행되었으며, 성형 하중을 5kg 단위로 증가시키면서 각 하중에서의 펀치 스트로크를 측정하였다. 성형 하중에 대한 펀치 스트로크 예측값이 마찰 모델 및 마찰 계수(또는 마찰 인자)의 변화에 따라 큰 편차를 보이는 것으로 예측되었다. Coulomb 마찰을 적용한 경우는 마찰 계수(friction coefficient, μ)가 0.05~0.12일 때, 일정 전단 마찰을 적용한 경우는 마찰 인자(friction factor,

m)가 0.3~0.5(1.0)일 때 실험과 유사한 결과를 보이는 것으로 예측되었다.



(a) By Coulomb's friction law



(b) By constant shear friction

Fig. 2 Stroke-load curves for comparison between frictional laws

3. 마이크로 스프링 성형 시뮬레이션

Fig. 3는 마이크로 스프링 성형 공정에 대한 해석 모델 및 성형 직후의 스프링백에 의한, 예측된 변형 형상을 보여주고 있다. 마이크로 와이어의 직경은 0.08mm이며, 성형되는 부위의 길이(수평 방향)는 약 3.6mm이다. 우측 끝단은 약 1.2mm 오프셋된 곳에 좌측 끝단과 수평이 되도록 성형하며, 압하율은 직경 대비 50%로서 성형 후 두께는 0.04mm가 된다.

유한요소(finite element)의 크기, 형상비 및 사용된 요소 수 등이 해석 결과에 미치는 영향을 살펴보기 위하여, 요소 개수를 3,000개에서 15,000개까지 변화시켜가며 시뮬레이션을 수행하였다. 해석 결과 간의 비교를 위하여, 성형 직후 스프링백에 의한 마이크로 스프링의 오른쪽 끝단의 처짐각(Θ_2 Fig. 4에 도시)의 예측 결과를 Fig. 5에 도시하였다. 본 해석을 수행할 때, 변형률의 탄성부 및 소성부 분해를 additive decomposition 또는 multiplicative decomposition으로 적용하였는데 예측 결과에서 보는

바와 같이, additive decomposition인 경우는 스프링백 예측결과가 일관성이 없음을 볼 수 있다. 반면에 multiplicative decomposition 인 경우는 결과가 일관되게 예측되기는 하였으나 기대했던 바와는 달리 처짐각이 일정 값에 수렴하는 경향을 보이지 않았다. 이에 대해서는 추후에, 적용된 유한요소의 종류 및 크기 등이 스프링백 해석에 미치는 영향을 살펴볼 계획이다. Fig. 5는 마찰계수를 0.3으로 설정하였을 때의 예측 결과이다.

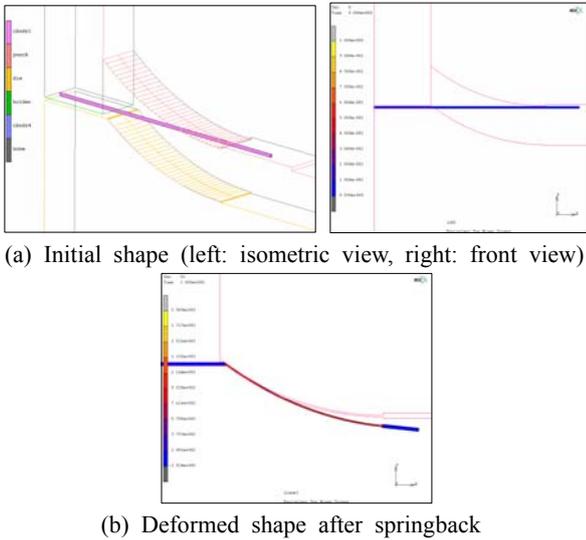


Fig. 3 Forming process simulation of micro-wire with pressing tools for making a micro-spring

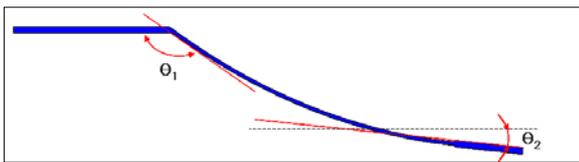


Fig. 4 Definition of end-tip angle

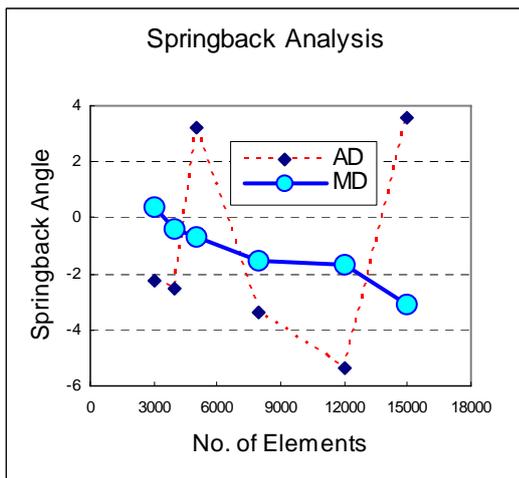


Fig. 5 Comparison between predictions of end-tip angle(θ_2) based on additive decomposition and multiplicative decomposition with the variation of the number of elements

Fig. 6는 마찰 인자(μ)를 변화시켰을 때, 성형 직후 스프링백에 의한 처짐각(θ_2)에 대한 시뮬레이션 예측 결과이다. 마찰 인자의 증가에 비례하여 마찰력이 증가하면서 대체적으로 스프링백에 의한 처짐각이 저감(처짐각이 0에 가까워지는 것)되는 효과를 보이는 것으로 예측되었으며, 이는 마찰력의 증가가 스프링백에 미치는 일반적인 영향이라고 볼 수 있다. 마찰 인자(μ)가 0.3에서 0.5로 증가하면서 스프링백에 의한 처짐각의 절대값이 증가하는

것으로 예측된 것은 성형소재와 금형 간의 연속적인 접촉을 완전하게 구현하지 못하는 유한요소해석의 한계에 일부 원인이 있는 것으로 사료된다. 참고로 Fig. 6은 변형률에 대해서 multiplicative decomposition이 적용된 예측 결과이다.

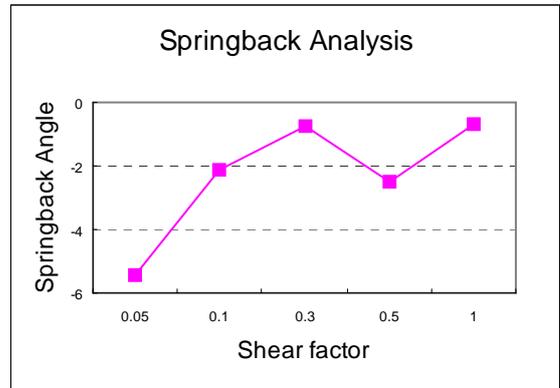


Fig. 6 Predictions of end-tip angle(θ_2) with the variation of shear friction factor (No. of elements = 15,000)

4. 결론

본 연구에서는 마이크로 와이어를 원소재로 하는 마이크로 스프링의 프레스 가공공정에 대한 적합한 유한요소해석 모델을 확립하기 위하여, 해석조건 및 공정인자에 대한 기초연구를 수행하였다. 마찰모델 및 마찰계수 변화에 따른 변위-하중 곡선의 변동 양상을 살펴보았으며, 공정조건 및 해석조건에 매우 민감하게 반응하는 스프링백 현상에 대한 유한요소해석 및 그 예측결과에 대한 분석을 수행하였다.

무유향상태의 단조 시험에서 Coulomb 마찰의 경우는 마찰계수(μ)가 0.05-0.12일 때, 일정 전단 마찰의 경우는 마찰인자(m)가 0.3-0.5(1.0)일 때의 시뮬레이션 예측 결과가 실제 실험과 유사한 것으로 나왔다. 마이크로 스프링 성형공정 시뮬레이션에서는, 변형률의 additive decomposition 적용은 스프링백 예측에 적절하지 못한 것으로 확인되었다. 마이크로 스프링 프레스성형공정에 대한 유한요소해석에서 요소 크기 및 개수, 마찰인자(또는 마찰계수) 변동에 따른 스프링백 예측은 추후 좀더 면밀한 고찰이 이루어져야 할 것으로 판단된다. 본 연구내용은 마이크로 스프링 성형가공을 위한 프레스공정개발에 유용하게 활용될 수 있을 것이다.

후기

본 연구는 산업자원부 지원의 부품소재기술개발사업(과제번호: 0601-DA1-014)의 일환으로 수행되었으며, 이에 관련 부처 및 관계자 여러분께 감사드립니다.

참고문헌

1. 추성일, 김진혁, 문성일, “초소형 마이크로 스프링의 기계적 특성에 관한 해석 및 실험,” 대한기계학회 2006년도 춘계학술대회논문집, 11-16, 2006.