

롤투롤 공정을 이용한 미세금속패턴 성형시 주름발생 방지를 위한 롤금형 설계

Design of Role Shape to Avoid Wrinkling Defects in Roll-to-roll Forming of Metal Micro-patterns

*박 근¹, 민병욱², 이해진³, #김종봉²

*K. Park¹, B. W. Min², H. J. Lee³, #J. B. Kim(jbkim@seoultech.ac.kr)²

¹서울과학기술대학교 기계시스템디자인공학과, ²서울과학기술대학교 기계자동차공학과,

³한국생산기술연구원 융복합연구그룹

Key words : Roll-to-roll forming, Micro pattern, Wrinkling, Finite element analysis, Optimal design

1. 서론

최근 전자제품 등의 소형화와 고기능화의 추세에 기인하여 마이크로 부품의 활용도가 높아지고 있다. 금속 마이크로 부품의 성형을 위해서는 마이크로 엠보싱,⁽¹⁾ 마이크로 펀칭,⁽²⁾ 마이크로 압출⁽³⁾ 등의 공정이 개발되어 있다.

본 연구에서는 롤금형에 미세패턴을 각인한 뒤 금속박판에 미세패턴을 복제하는 롤투롤(Roll-to-roll; R2R) 성형공정에 대한 연구를 진행하고자 한다. 롤투롤 성형은 주로 전자인쇄 공정이나 고분자 필름상에 미세패턴을 복제하는 데 사용되어 왔으며,⁽⁴⁾ 최근 금속 박판에 적용한 연구가 시도되고 있다.

본 연구자의 선행연구 결과 금속박판의 롤투롤 성형에서는 주름(Wrinkling) 결함이 발생하는 것으로 확인되었고,⁽⁵⁾ 이를 개선하기 위해 롤금형에 유동안내부(Flow guide)를 가공하여 유동의 균형을 개선할 수 있었다.⁽⁶⁾ 본 연구에서는 상기 결과를 발전시켜 유동안내부의 최적설계를 통한 주름의 개선에 활용하고자 한다.

2. 롤투롤 성형에서의 주름발생 고찰

Fig. 1 에 롤투롤 성형공정의 개요도를 도시하였다. 한 쌍의 롤을 사용하였으며, 상부 롤에 미세패턴을 각인하여 사용하였다. 롤의 직경은 150 mm 이며, 금속박판의 두께는 0.2 mm 이다. 미세패턴의 깊이는 50 μm , 피치는 200 μm 로 가공하였으며, 상부롤의 피치각(θ)은 0.2°, 롤의 각속도는 0.035 rad/s 로 설정하였다.

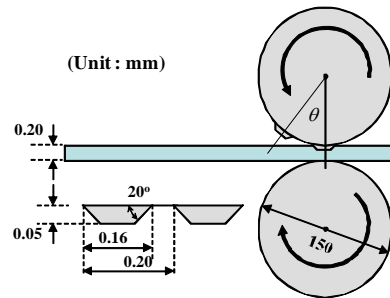


Fig. 1 Schematic view of the R2R forming process

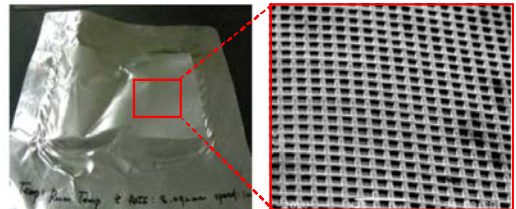


Fig. 2 Patterned metal sheet through the R2R process

Fig. 2 에 롤투롤 공정을 통해 성형된 금속박판의 형상을 도시하였다.⁽⁶⁾ 미세패턴은 성공적으로 성형된 반면 전체적으로 주름이 발생함을 확인할 수 있었다.

3. 주름 방지를 위한 롤형상 최적설계

상기 주름의 방지를 위해 Fig. 3 과 같이 롤금형 외측에 유동안내부를 추가하였다. 유동안내부의 설계인자는 안내부 거리(d), 폭(w), 깊이(h), 및 잔여길이(l)로 설정하였다. Fig. 4 에 초기 설계(d : 0.5 mm, w : 0.2 mm, h : 0.05 mm, l : 0.5 mm)

를 적용한 유한요소해석 결과를 도시하였으며, 이때 패턴부 끝단간의 길이편차(δ)는 $64.5 \mu\text{m}$ 로 예측되어 유동안내부가 없는 경우($142.8 \mu\text{m}$)에 비해 절반 이하로 감소되었다.⁽⁶⁾ 상기 길이편차의 감소는 소재흐름의 균일도를 향상시켜 주름의 발생을 방지하는 것으로 판단된다.

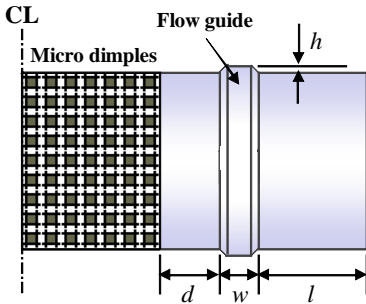


Fig. 3 Schematic illustration of the flow guide design

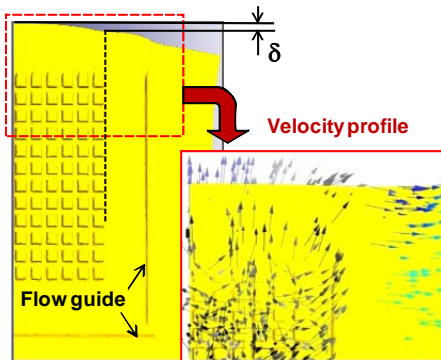


Fig. 4 Deformed shape with detailed velocity profiles during the R2R process with the flow guide

Table 1 CCD design table with responses (unit: mm)

Guide distance (d)	Guide width (m)	Deviation (δ)
0.138	0.40	0.013
0.20	0.20	0.059
0.20	0.60	0.002
0.35	0.117	0.085
0.35	0.40	0.030
0.35	0.683	-0.005
0.50	0.20	0.057
0.50	0.60	0.014
0.562	0.40	-0.050

상기 유동안내부의 최적화를 위해 실험계획법을 적용한 반응표면분석을 사용하였다. 실험계획은 중심합성법(Central Composite Design; CCD)을 사용하였으며, Table 1에 직교배열표와 유한요소 해석결과를 요약하였다. 상기 결과를 토대로 반응표면 분석을 실시한 결과 롤금형 유동안내부의 최적 설계안(d : 0.45 mm, w : 0.56 mm, h : 0.05 mm, l : 0.5 mm)을 도출할 수 있었으며, 이를 적용하여 추가해석을 실시한 결과 길이편차를 $5.1 \mu\text{m}$ 까지 감소시킬 수 있었다.

4. 결론

본 연구에서는 롤투를 성형을 이용한 금속 박판 미세패턴 성형공정에서 유동안내부를 도입하고 형상을 최적화하여 길이편차를 초기설계 대비 8% 수준으로 감소시킬 수 있었다. 상기 최적설계안을 적용하여 성형시 주름발생을 방지할 수 있을 것으로 기대된다.

후 기

본 연구는 지식경제부 주관 전략기술개발사업 "마이크로 기능성 초정밀 핵심요소부품 제조기반기술개발"의 결과임.

참고문헌

1. M. Geiger et al., "Microforming," *Annal. CIRP*, 50, 445-459, 2001.
2. B. Y. Joo and S. I. Oh, "Development of micro punching system," *Annal. CIRP*, 50, 191-194, 2001.
3. N. Krishnan et al., "Study of the size effects on friction conditions in microextrusion," *J. Manuf. Sci. Eng.* 129, 669-676, 2007.
4. I. S. Kim, "Trend in flexible substrate development for flexible displays," *Information Display*, 9, 29-36, 2008.
5. B. W. Min, et al., "Prediction of wrinkling in micro R2R forming and its improvement," *Trans. Mater. Process.* 20, 42-47, 2011.
6. K. Park et al., "Optimal design of the roll shape for roll-to-roll forming process of metal micro-patterns," *Steel Research Int.*, 723-726, 2012.