

금형의 상세 형상을 고려한 크로스웨지롤링 공정의 유한요소 시뮬레이션

이민철¹ · 조주현² · 박정휘³ · 전만수[#]

Finite Element Simulation of a Cross-Wedge Rolling Process Considering Detailed Geometry of Dies

M. C. Lee, J. H. Cho, J. H. Park and M. S. Joun

Abstract

We conduct finite element simulation of a cross-wedge rolling process using AFDEX 3D. The die is realistically modeled with emphasis on the hatched plicate over the slope or forming region. Coulomb frictional law is used to prevent slip between material and die. Constant shear frictional law is also investigated and it is emphasized that the constant shear frictional law is improper for cross-wedge rolling simulation.

Key Words: Finite element simulation, Cross-wedge rolling, AFDEX 3D, Coulomb frictional law

1. 서론

크로스웨지롤링(cross wedge rolling) 공정은 계단이 쳐 있는 축류 제품의 제조와 소재 체적 분배가 필요한 예비형상의 생산에 사용되고 있다. 크로스웨지롤링은 금형의 형상에 따라 평판웨이 타입, 두 개의 롤 타입, 세 개의 롤 타입으로 분류되고 있다. 크로스웨지롤링은 금형의 형상 측면에서 대개 네 가지의 상이한 성형 영역을 지나고 있다. 선단부(knifing), 유도부(guiding), 스트레칭부(stretching), 사이징부(sizing)가 그것이다. 각 부위별로 금형의 형상변화가 발생하므로 변형 형태가 크게 달라진다. 선단부는 V 자 형의 홈을 내어 공정이 순조롭게 진행되도록 소재의 초기 상태를 만들어 준다. 즉, 단조에서 업세팅에 해당하는 역할을 한다. 유도부에서는 선단부에서 만들어진 V 자 형의 홈을 균일하게 하는 역할을 하며, 선단부와 연계하여 설계함으로써 특별히 유도부를 두지 않는 경우도 있다. 스트레칭부는 크로스웨지롤링

에서 소성유동 관점에서 가장 중요한 부분이며, 사이징부는 마무리 치수내기 및 표면 정도 향상의 역할을 수행한다. 금형은 평탄부와 경사부로 이루어져 있으며, 경사면과 평면이 이루는 경사각, 스트레칭부에서 평면의 확장각도와 단면감소율 등이 주요 설계변수가 되고 있다. 일반적으로 금형의 경사면에는 빗살무늬를 하여 마찰을 크게 함으로써 공정 중 소재와 금형의 미끄러짐을 방지하고 있다.

크로스웨지롤링은 장점이 많지만 공정 및 금형 설계의 어려움, 높은 개발 비용, 높은 결함 발생 가능성 등으로 인하여 적용은 많지 않다[1-4]. 이러한 문제의 해결을 위하여 유한요소법이 다양하게 연구되었다[5-16]. 크로스웨지롤링은 역학적 복잡성으로 인하여 대부분의 기법들이 많은 가정에 바탕을 두고 있다. 실공정에서 마찰을 크게 하기 위하여 금형의 경사면에 빗살무늬를 한 것을 금형 모델링 시에 반영하지 않았거나, 고마찰 영역에 대한 고려를 하지 않았다. 크로스웨지롤링에서

1. 경상대학교 기계공학과 박사후 과정

2. 동은단조㈜ 기술연구소

3. 경상대학교 기계공학과 대학원

경상대학교 기계항공공학부/항공기부품기술연구소

Email: msjoun@gnu.ac.kr

는 마찰에 의하여 소재가 회전하며 이로 인하여 이 공정의 특징인 나선형 거동특성이 발생하므로 마찰을 강조하지 않은 기존의 연구는 실제의 공정을 정확하게 반영한 것으로 보기에 다소 어려움이 따른다.

특히 크로스웨이롤링에서 마찰은 본질적으로 매우 중요함에도 불구하고 다수의 연구[7, 9, 10, 11, 12, 14]에서 일정전단마찰법칙을 사용하였으며, 일정전단마찰법칙을 사용한 모든 연구에서 극단적인 1.0 을 마찰상수로 사용하였다. 물론 Coulomb 마찰법칙을 이용한 연구도 다수 있다[5, 13, 15, 16]. Dong 등[5]은 마찰계수에 따른 크로스웨이롤링 공정의 거동특성을 분석하였고, Urankar 등[13]은 임계마찰조건의 중요성을 강조하였으며, 실험과 해석을 통하여 크로스웨이롤링에서의 임계마찰계수를 제시하였다.

본 연구에서는 마찰의 증가 목적으로 거칠게 만들어진 경사면을 실험결과 유사하게 고려하고 Coulomb 마찰법칙을 이용하여 크로스웨이롤링 공정의 시뮬레이션을 실시하였다. 시뮬레이션에 사용된 소프트웨어는 저자들이 개발한 AFDEX 3D[17] 이다.

2. 공정의 정의 및 유한요소해석

Fig. 1 은 크로스웨이롤링 공정의 주요변수를 정의하고 있으며, 소재의 치수는 $\varnothing 30 \times 100$ mm 이고, 단면감소율 A/A_0 는 1/9 이다. Fig. 2 는 본 연구에서 적용 예제로 선택된 크로스웨이롤링 공정에 사용된 금형을 나타내고 있다. 이 금형은 Bartnicki

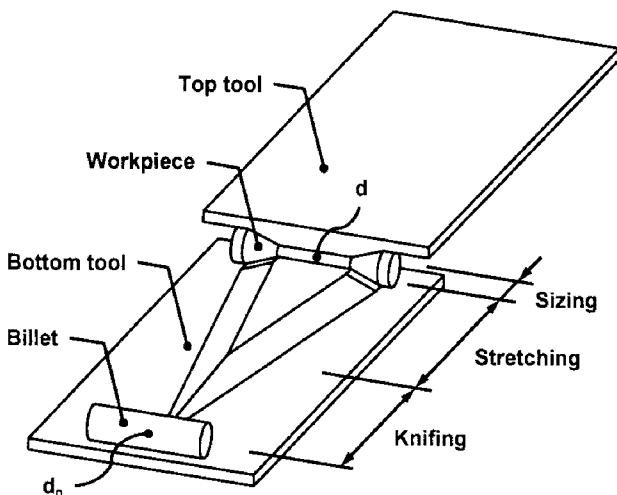


Fig. 1 Schematic drawing of a CWR process.

와 Pater[9] 가 실험 목적으로 사용된 것과 동일한 것이다. 금형의 성형각도(forming angle)는 20 도이고, 퍼짐각도(spreading angle)는 9 도이다. 경사면은 실제 금형[9]의 모양과 유사하게 하기 위하여 빗살무늬를 새겼으며, 그렇게 하지 않은 경우에 발생할 수 있는 문제를 분석하기 위하여 기존의 연구자들이 채택한 평탄한 면으로 처리한 것에 대한 해석도 실시하였다.

공정해석은 등온공정의 가정하에서 실시되었으며, 시뮬레이션에 사용된 입력정보, 즉 유동응력[9], 속도, 마찰조건 등은 다음과 같다.

- 소재온도: 1150 °C
- 유동응력: $\bar{\sigma} = 24.8 \bar{\epsilon}^{0.088}$ MPa [9]
- 마찰상수: 1.0
- 마찰계수: 0.5
- 상하 금형의 상대속도: 150 mm/s

사면체요소망을 사용하였으며, 총 요소의 수가 20000 개 내외가 되도록 하였다.

먼저 경사면을 평탄한 면으로 모델링하여 일정전단마찰법칙을 이용하여 해석을 수행하였다. 이때 1.0 을 마찰상수로 사용하였다. 그 결과 Fig. 3 에서 보는 바와 같이 어느 정도 이상에서는 소재가 더 이상 회전 운동을 하지 않고 미끄러지는 현상이 발생하였다. 이는 일정전단마찰법칙이 본 예제와 같이 중심의 단면감소율이 비교적 크고 선단부와 스트래칭부의 각도가 큰 크로스웨이롤링 공정의 해석에는 부적합함을 알 수 있다.

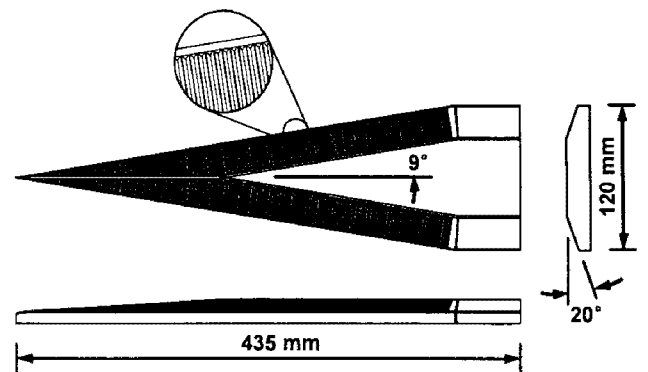


Fig. 2. Wedge tool model used in simulation for CWR process

Fig. 4 에 빗살무늬의 경사면이 고려된 금형을 사용하여 얻은 시뮬레이션 결과를 나타내었다. 해석 도중에 변형으로 인한 파단을 고려하지 않고 해석한 것으로 중심부가 실처럼 가늘게 되었는데

도 불구하고 성공적인 해석이 이루어졌다. 이는 AFDEX 3D 가 요소망재구성 등의 측면에서 매우 지능화되어 있고 강건함을 보여주는 결과이다.

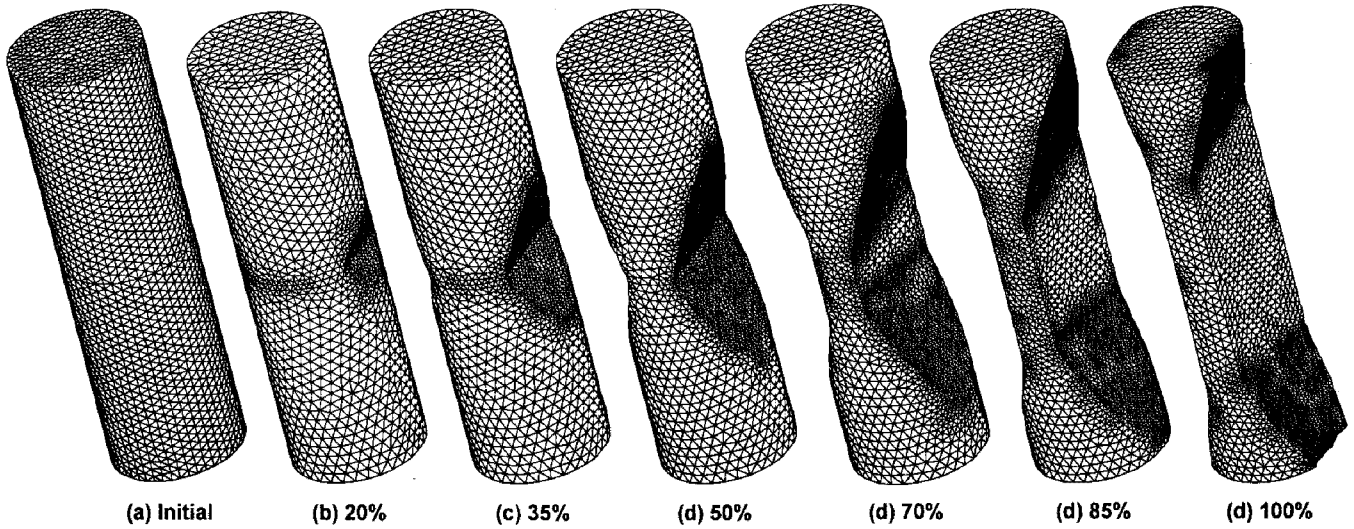


Fig. 3 Case of cross-wedge simulation failure when the constant shear frictional law was employed

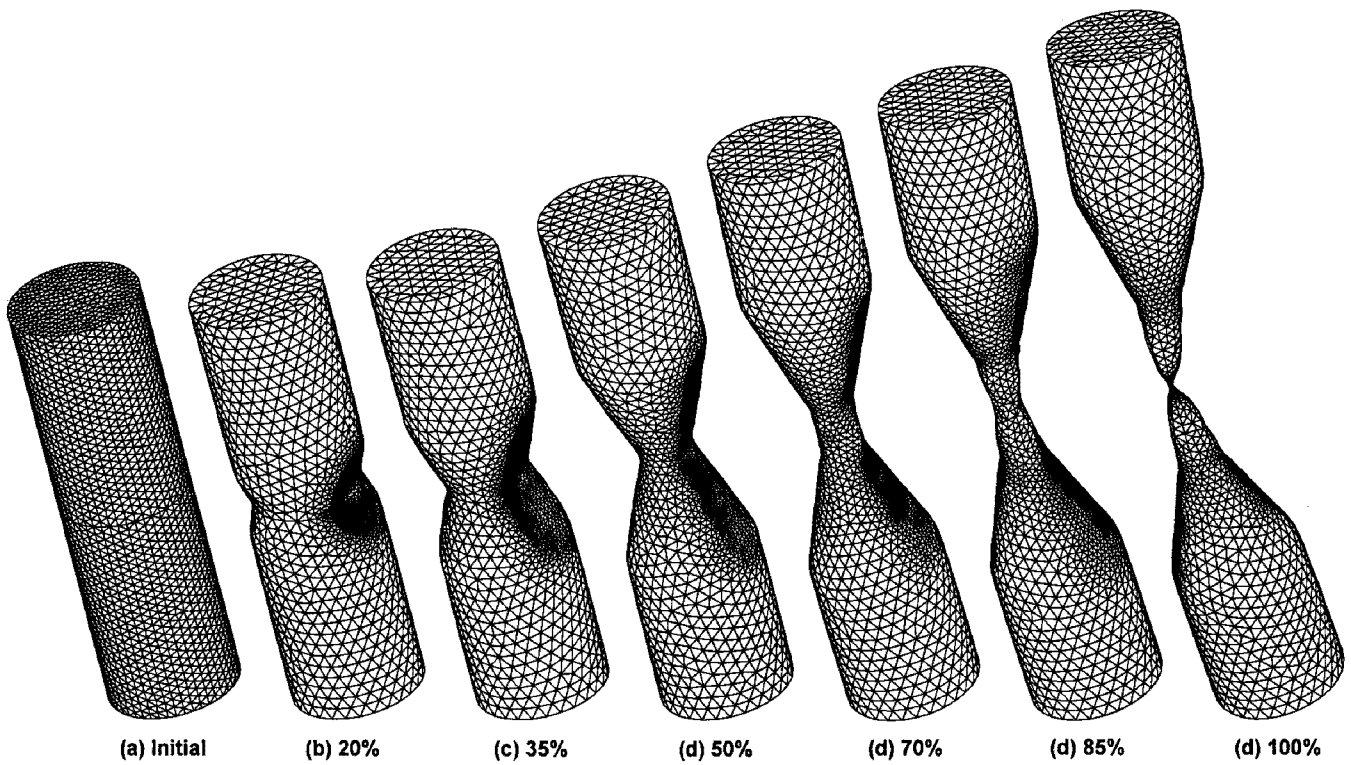


Fig. 4 Simulated results of the cross-wedge rolling using the Coulomb frictional law

4. 결 론

본 연구에서는 Coulomb 마찰법칙을 이용한 크로스웨지롤링 공정의 해석이 이루어졌다. 마찰을 증가시키기 위하여 금형의 경사부에 새겨진 빗살무늬를 고려하였다. 단면감소율에 비하여 상대적으로 금형의 길이가 짧은, 즉, 선단부와 스트래칭부의 단면 변화가 상대적으로 큰 문제에 있어서 일정전단마찰법칙은 미끄러짐에 노출됨을 확인하였다. 따라서 마찰특성이 공정의 성패와 제품 품질을 좌우하는 크로스웨지롤링 공정의 해석을 위해서는 Coulomb 마찰법칙 또는 법선응력의 영향이 고려된 마찰법칙의 사용이 바람직하다고 판단된다.

후 기

본 논문은 2단계 BK21 사업 및 산업자원부의 지역혁신인력양성사업의 일환으로 실시된 연구결과의 일부임.

참 고 문 헌

- [1] Y. Dong, K. A. Tagavi and M. R. Lovell, 2000, "Analysis of interfacial slip in cross wedge rolling: a numerical and phenomenological investigation", J. Mat. Proc. Tech., Vol. 97, pp. 44-53.
- [2] Q. Li, M. R. Lovell, W. Slaughter and K. Tagavi, 2002, "Investigation of the morphology of internal defects in cross wedge rolling", J. Mat. Proc. Tech., Vol. 125-126, pp. 248-257.
- [3] W. Johnson, A. G. Mamalis, 1977, "A survey of some physical defects arising in metal working processes", Proc. of the 17th Int. MTDR Conf., London, UK, pp. 607-621.
- [4] Q. Li, M. R. Lovell, Z. Dong, 2001, "Analysis of interfacial slip in a two-roll cross wedge rolling process", Trans. NAMRI, SME, Vol. 29, pp. 9-16.
- [5] Y. Dong, K. A. Tagavi, M. R. Lovell and Z. Deng, 2000, "Analysis of stress in cross wedge rolling with application to failure", Int. J. Mech. Sci., Vol. 42, pp. 1233-1253.
- [6] M. R. Lovell, Trans., 2001 ASME, J. Tribology, Vol. 123, pp. 424-429.
- [7] G. Fang, L. P. Lei, P. Zeng, 2002, "Three-dimensional rigid-plastic finite element simulation for the two-roll cross-wedge rolling process", J. Mater. Process. Technol., Vol. 129, pp. 245-249.
- [8] Q. Li., M. Lovell, 2004, Int. J. Adv. Manuf. Technol., Vol. 24, pp. 180-189.
- [9] J. Bartnicki and Z. Pater, 2004, "The aspects of stability in cross-wedge rolling processes of hollowed shafts", J. Mat. Proc. Tech., Vol. 155-156, pp. 1867-1873.
- [10] J. Bartnicki and Z. Pater, 2005, "Numerical simulation of three-rolls cross-wedge rolling of hollowed shafts", J. Mat. Proc. Tech., Vol. 164-165, pp. 1154-1159.
- [11] Z. Pater, J. Bartnicki and G. Samolyk, 2005, "Numerical modeling of cross-wedge rolling process of ball pin", J. Mat. Proc. Tech., Vol. 164-165, pp. 1235-1240.
- [12] M. Wang, X. Li, F. Du and Y. Zheng, 2005, "A coupled thermal-mechanical and microstructural simulation of the cross wedge rolling process and experimental verification", Mat. Sci. and Eng. A, Vol. 391, pp. 305-312.
- [13] S. Urankar, M. Lovell, C. Morrow, Q. Li, and K. Kawada, 2006, "Development of a critical friction model for cross wedge rolling hollow shafts", J. Mat. Proc. Tech., Vol. 177, pp. 539-544.
- [14] Z. Pater, 2006, "Finite element analysis of cross wedge rolling", J. Mat. Proc. Tech., Vol. 173, pp. 201-208.
- [15] X. Shu, C. Li, J. Zhao, Z. Hu, 2007, "Theoretical and experimental study of varying rule of rolling-moment about cross-wedge rolling", J. Mat. Proc. Tech., Vol. 187-188, pp. 752-756.
- [16] H. W. Lee, G. A. Lee, D. J. Yoon, S. Choi and K. H. Na, "Optimization of design parameters using a response surface method in a cold cross wedge rolling", in press.
- [17] <http://www.Afdex.com>