

CAD/CAE 를 이용한 냉간 비조질강용 회전전조 금형설계

이형욱 · 윤덕재 · 이근안 · 최석우

Design of Cross Wedge Rolling Die for a Non-heat-treated Cold Steel using CAD and CAE

H. W. Lee, D. J. Yoon, G. A. Lee, S. Choi

Abstract

A non-heat-treated steel does not need quenching and tempering processes that are called a heat treatment differently from conventional steel. Since the tensile strength of this steel is higher than 900MPa, a conventional forming process should be changed to incremental forming process such as a cross wedge rolling that requires lower load capacity than conventional ones. In this paper, the cold cross wedge rolling (CWR) die has been designed using CAD/CAE in order to produce near-net-shaped component of ball stud of non-heat-treated cold steel. Finite element analyses were applied in order to investigate process parameters of CWR. Results provide that the stretching angle and the forming angle at knifing zone in CWR process is important parameter to be the stable process under the low friction coefficient condition.

Key Words : Non-heat-treated Cold Steel (비조질강), Cross Wedge Rolling (회전전조압연), Shoulder/Forming Angle (성형각), Stretching/Spreading Angle (진행각), Knifing Zone (절입부)

1. 서 론

21 세기의 제조업은 기업간 기술경쟁의 심화와 함께 환경기준도 강화되어, 오염물질 배출을 최소화하기 위한 공정과 에너지 사용의 최소화 등과 같은 친환경적인 청정생산기술이 필요한 상황이다. 산업기반 기술 중 하나인 소성가공 공정에서는 신기술 개발과 아울러 환경 친화적인 소재를 사용하여 공정 개선을 이룰 수 있다⁽¹⁾.

비조질강은 기존의 조질강과 달리 통상 조절 처리라고 일컬어지는 담금질, 템퍼링 공정(Q&T: Quenching & Tempering)을 생략할 수 있는 강종으로써, 에너지 절감을 위하여 본 소재가 개발된 이후 환경보호가 보다 중요해진 21 에 들어 주목받고 있다. 1970 년대에 독일에서 최초로 개발되고, 1990 년대 일본에서 활발히 활성화되고 있는 비조

질강은 기존의 제품 제조방법을 획기적으로 개선하는 청정소재로서 소재의 미세구조와 석출구조 등을 적절히 이용하는 강종이다. 냉간압조용 비조질강은 소재의 압축강도를 낮추고 인장강도를 적정수준으로 유지한 상태에서 냉간 압축성형을 유도하면서 제품의 강도를 유지, 향상시키는 기술을 이용한다. 기본적으로 Q&T 공정이나 구상화 소둔 공정을 생략함으로써, 에너지 절감, 환경보호 및 경제적 이득을 동시에 달성하려는 강종이다.

이와 같은 비조질강은 그 특성의 우수성 때문에 주목 받기 시작하면서 일본을 비롯한 선진국에서 활발히 연구를 진행하면서 비조질강이 안고 있는 자체의 문제를 대부분 해결한 상태이다. 현재 인장강도 90kgf/mm² 이상의 고강도 비조질강 개발과 상용화에 선진 각국이 총력을 기울이고 있는 실정이다. 특히 비조질강의 활용을 위해서

* 한국생산기술연구원 디지털생산공정팀

관련 공정기술을 동시에 개발하고 있는 실정으로 고강도 저연신 소재를 후속 성형공정에서 적절히 성형하는 기술, 후가공을 배제하는 성형기술을 통하여 공정의 장점을 극대화하는 기술 등을 개발하고 있다.

인장강도가 높은 비조질강과 같은 난성형재를 정형가공할 수 있는 우수한 성형방법은 성형하중을 줄일 수 있는 점진성형방법 중의 하나인 전조압연공정(Cross Wedge Roll)이 있다. 전조압연공정은 금형의 형상에 따라 판형과 롤형으로 나눌 수 있다. 일반적으로 판형과 두개의 롤로 이루어진 롤형이 많이 사용되고 있다. 현재까지의 전조압연성형은 다양한 부품에 대하여 열간성형방법 적용하고 있다.

열간상태에서의 전조압연공정에 대하여 다양한 연구가 수행되었다⁽²⁻⁷⁾. Zb. Pater 등⁽²⁾은 평판형 전조압연공정을 이용한 엷텅 공정의 해석적 모델을 구성하였고, 전조압연공정의 안정성에 대한 연구를 수행하였다. Y. Dong 등^(3,4)은 평판형 전조압연공정에서 수치해석과 실험을 통하여 틀과 소재간의 미끄러짐을 해석하였다. Q. Li 등⁽⁵⁾은 공정에서 단면감소율, 성형각, 진행각에 따른 내부 결함의 발생에 대한 연구를 수행하였고, G. Fang 등⁽⁶⁾은 강소성 유한요소법으로 롤형태의 전조압연공정에 대하여 해석을 수행하여 공정을 검토하였다.

이러한 연구를 통하여 성형각도, 진행각도, 단면감소율 등의 금형형상 변수와 마찰계수가 중요한 변수가 되는 것을 알 수 있다. 그러나 냉간상태에서의 전조압연공정에 대해서는 거의 이루어진 연구가 없는 상태이다. 본 논문에서는 현재 비조질강의 수요부품 중의 하나인 자동차 조향, 헨가부품인 볼 스테드(Ball Stud)의 성형을 위하여 롤형태의 전조압연공정을 이용하였다. 롤 금형을 설계하고 전조압연 공정의 설계변수를 평가하기 위하여 CAD/CAE 기법을 응용하였고, 유한요소해석은 KISTI의 Supercomputing Center에 있는 LS-DYNA3D를 사용하였다.

2. 전조압연 공정

2.1 전조압연 공정변수

원통형 전조압연공정과 평판형 전조압연공정의 개요를 Fig.1에 각각 도시하였다. 여기서 원통형 전조압연공정의 금형에 대한 공정변수가 되는 것은 Fig. 2에 도시한 것들이다. 여기에 소재와 금형

사이의 마찰계수가 중요한 변수가 된다. 금형의 형상으로 제어할 수 있는 변수는 주로 성형각과 진행각, 절입부와 성형부의 길이 등이다.

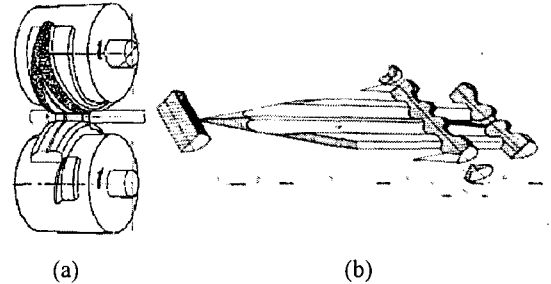


Fig. 1 Typical cross wedge rolling processes: (a) Roller type; (b) Plate type

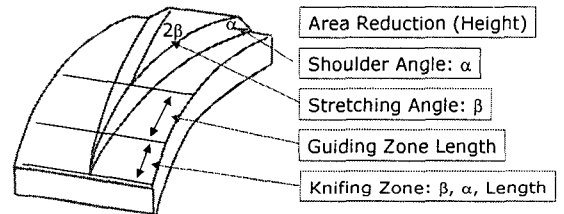


Fig. 2 Process parameters of cross wedge rolling Process

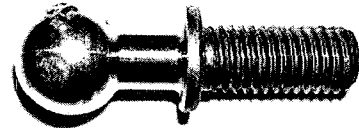


Fig. 3 Typical shape of ball stud

2.2 성형모델

본 논문에서는 금형의 형상에서 성형각과 진행각에 따라 소재의 성형성과 소재의 미끄러짐, 압연공정의 안정성 등을 평가하였다. 본 논문에서 적용된 부품은 Fig. 3의 볼 스테드이고, 볼 헤드와 나사산 사이의 목 부위를 원통형 전조압연을 적용한다. 이 모델의 형상적 특징은 일반적인 전조압연공정과 다르게 성형을 진행각에 따라 대칭적으로 수행하는 것이 아니라 한 쪽은 고정하고 한 방향으로만 성형하는 비대칭적 형태인 것으로, 형상의 유지, 미끄러짐 등이 더욱 중요한 영향을 주는 모델이다. 해석에 사용된 소재는 냉간 압조용 비조질강인 POSMA40B 이고, 이 소재의 유동응력은 Fig. 4와 같다.

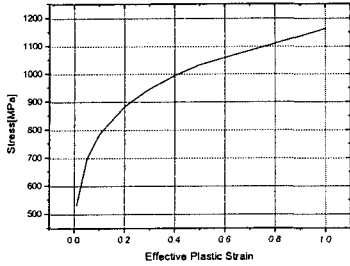


Fig. 4 Hardening curve for POSMA40B

2.3 금형의 유한요소 모델링

금형은 성형각, 진행각에 따라 3 가지로 설계를 수행하였고, 설정된 모델은 다음과 같다. BS1630 모델의 금형과 소재의 모델링은 Fig. 5 와 같고, 금형의 절점은 9916 개, 요소수는 19262 개이고, 볼스터드의 절점은 20527 개, 요소는 19872 개이다. 금형의 진행각은 $1.2^{\circ} \sim 2.0^{\circ}$ 로 반원 내에서 구성 될 수 있도록 하였고, 나사부에서는 성형이 일어나지않고 목 부위에서만 성형이 되도록 하였다. 본 논문에서는 성형영역이 비대칭이므로 진행각을 2β 가 아닌 β 로 표기하였다.

Table 1 Analysis model for cross wedge rolling

모델명	진행각(β)	성형각(α)	금형각도
BS1220	1.2°	20°	142°
BS1630	1.6°	30°	110°
BS2030	2.0°	30°	94°

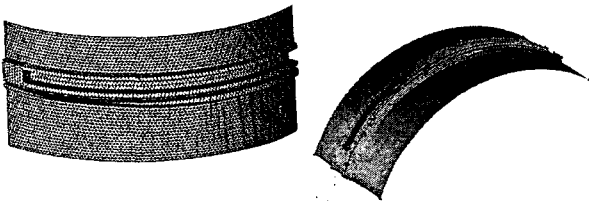


Fig. 5 Finite element modeling of die

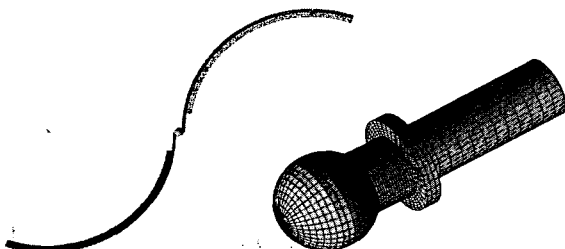


Fig. 6 Assembly of the ball stud and two dies

3. 해석결과

냉간공정의 경우 열간공정보다 마찰계수가 작기 때문에, 냉간 전조압연에서 가장 큰 난점은 슬립현상이라고 할 수 있다. BS1630 모델에 대하여 해석을 수행하고, 형상을 Fig. 7 에 도시하였다. Fig. 7 은 소재와 금형사이에서 미끄러짐이 일어나고 있는 것을 보이고 있어, 금형 형상변경을 통하여 설계를 변경할 필요가 있다.

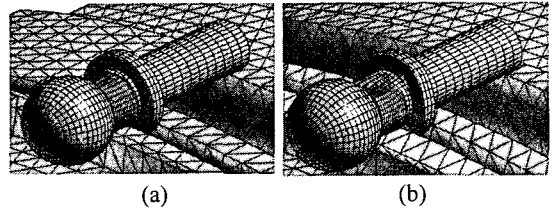


Fig. 7 Deformed shaped of BS1630 with the friction coefficient of 0.1: (a) at the knifing zone; (b) at the guiding zone

미끄러짐을 줄이기 위하여 성형각을 낮추어 보다 많은 면적에서 접촉이 일어나도록 유도할 필요가 있으며, 이에 따라 성형하중을 줄이기 위해 진행각을 줄일 필요가 있다. 따라서 Table 1 에 있는 세가지 모델에 대하여 해석을 수행하고 이를 검토하도록 하였다. 세가지 모델에 대하여 해석을 수행하고 금형의 회전과 소재의 회전간의 관계를 분석하여 Fig. 8 에 도시하였다. 소재와 금형간의 슬립은 절입부에서 일어나는 것을 알 수 있고, 진행각에 따라 한가지 경향을 보임을 알 수 있다.

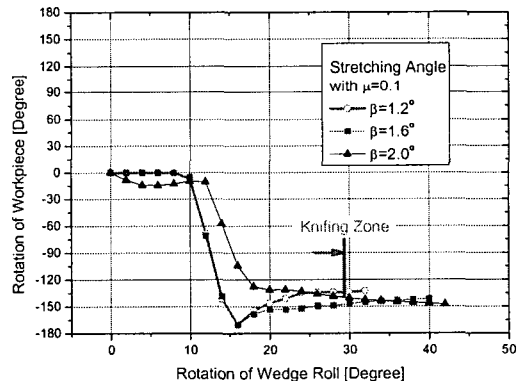


Fig. 8 Rotation of workpiece with respect to the rotation of wedge roll die

세가지 모델 중 진행각이 1.2° 인 모델이 정점을 지나 회전하려는 경향을 보이고 있어 아래 정점을 지나지 못하는 2.0° 모델, 아래 정점을 지나고 바로 미끄러지는 1.6° 의 타 모델에 비하여 슬립이 작아 지고 있는 것을 알 수 있다.

마찰계수가 0.2 인 경우 성형형상 및 유효소성 변형을 분포를 Fig. 9 에 도시하였다. 이 경우는 과도한 슬립이 일어나지 않아 금형의 회전에 따라 소재가 성형 되는 것을 알 수 있다.

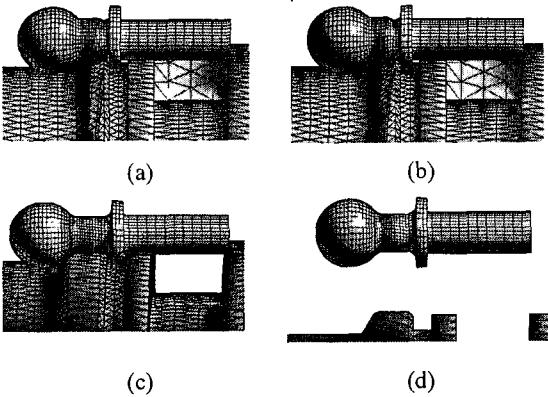


Fig. 9 Deformed shapes of the ball stud with the friction coefficient of 0.2: (a) at knifing zone; (b) at guiding zone; (c) at stretching zone; (d) final.

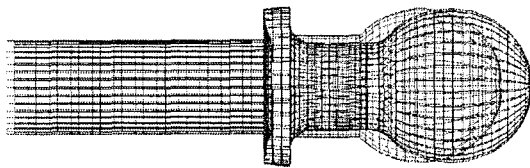


Fig. 10 Comparisons between initial and deformed shapes of BS1630

Fig. 10 은 BS1630 모델의 성형 전, 후의 형상을 비교한 그림이다. 소재가 성형됨에 따라 목부위의 반경이 줄어들고, 볼 헤드는 성형방향으로 밀려나감을 알 수 있으며, 볼 헤드의 치수는 거의 변화가 없는 것으로 나타났다. BS1630 모델의 성형모드는 목 부위의 성형에서 소재가 밀려나는 것과 동시에 축 부위의 소재역시 같이 밀려나는 것으로 나타나있어, 소재를 잠진적으로 변형시키기 위해 진행각을 줄여야 할 것으로 보이며, 나사부의 끝단을 경계조건으로 잡는 것도 하나의 방법이 될

수 있을 것이다.

4. 결론

본 논문에서는 냉간 압조용 비조질강을 이용한 볼 스테드 부품의 정형가공을 위하여 전조압연공정을 설계하였다. 유한요소 해석을 통하여 공정변수의 특성을 파악하여 설계에 적용하였다.

절입부에서의 진행각을 변화시켜 낮은 마찰계수에 대한 안정성을 높일 수 있었다. 향후, stretching 부에서 성형각을 변화시켜 성형모드를 제어할 수 있도록 금형을 설계하여야 할 것이다.

후 기

본 연구는 산업자원부가 지원하고 있는 청정생산기술사업 중 한국생산기술연구원이 주관하고 있는 차세대 환경친화형 고강도 냉간 비조질강 제품 개발 사업의 세부과제로서 수행 중이며 이에 관계자 여러분께 감사의 말씀을 올립니다.

참 고 문 헌

- (1) 한국생산기술연구원, 2003, 차세대 환경친화형 고강도 냉간 비조질강 제품 개발 기획보고서
- (2) Zb. Pater, W. Weronki, J. Kazanecki and A. Gontarz, 1999, "Study of the process stability of cross wedge rolling", J. Mater. Process. Technol., Vol. 92-93, pp. 458-462.
- (3) Y. Dong, M. Lovell and K. Tagavi, 1998, "Analysis of interfacial slip in cross-wedge rolling: an experimentally verified finite-element model", J. Mater. Process. Technol., Vol 80-81, pp. 273-281.
- (4) Y. Dong, K. A. Tagavi and M. R. Lovell, 2000, "Analysis of interfacial slip in cross-wedge rolling: a numerical and phenomenological investigation", J. Mater. Process. Technol., Vol. 97, pp. 44-53.
- (5) Q. Li, M. R. Lovell, W. Slaughter and K. Tagavi, 2002, "Investigation of the morphology of internal defect in cross wedge rolling", J. Mater. Process. Technol., Vol. 125-126, pp. 248-257.
- (6) G. Fang, L. P. Lei and 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.