

대형 크랭크 스톱의 형단조 적용 연구

송민철¹, 신상범¹, 김병화², 주성호², 이명규²

A study on the application of closed-die forging method for the large crank throw

M.C. Song, S.B. Shin, B.H. Kim, S.H. Ju, M.G. Lee

Abstract

The purpose of this study is to evaluate a closed-die forging method for large crank throw using analytical and numerical approaches. A closed-die forging equipment with wedge and links was proposed to forge large crank throw using kinematic analysis. The minimum press capacity for the closed-die forging was established using the comprehensive FEA.

Key Words : crank throw, closed-die forging, forging equipment

1. 서 론

선박 및 발전용 엔진의 핵심 부품인 크랭크샤프트의 제조방법은 크기에 따라 일체형과 조립형으로 구분된다. 일체형 크랭크샤프트는 통상 중형 크랭크 샤프트로 불리며, 주로 중소형 선박의 추진 엔진 및 발전용 엔진에 사용되며, 형단조 방법인, 예컨대 TR단조에 의해서 제작된다. 조립형 크랭크샤프트는 주로 대형 선박의 주추진 엔진에 사용되며, 크기의 대형화로 인하여 크랭크 스톱과 저널, 플랜지를 각각 자유단조하여 열박음으로 조립하는 방식으로 제작된다. 자유단조는 별도의 금형이 적게 소요되고, 적은 용량의 프레스로 큰 제품을 단조할 수 있는 장점이 있으나, 제품의 치수가 정밀하지 못하여 소재의 회수율이 떨어지고, 후가공 비용이 많이 소요된다. 이와 같은 자유단조 공정을 개선하고자 대형 크랭크 스톱을 후방 압출과 유사한 형태의 형단조로 제작하고자

하는 연구가 부분적으로 수행되었으나, 작업성 및 성형하중에 기인하여 양산에 적용되지 못하고 있으며, 최근에는 자유 단조 공정에 부분적으로 형단조를 적용하는 방안이 국한되어 왔다[1,2]. 형단조법의 하나인 TR단조로 제작된 크랭크 스톱은 자유단조로 제작된 크랭크 스톱에 비하여 정상품에 가까운 형상으로 가공마진이 크게 감소한다. 또한, TR단조는 프레스에 링크구조를 가지는 단조장치를 부착하고, 환봉 형태의 소재에 굽힘과 업셋팅을 동시에 가하여 단조하는 방법으로, 프레스의 하중을 증폭시킬 수 있어 형단조 시 공정 제약 조건 중 하나인 성형하중 문제를 해결할 수 있는 장점이 있다. 따라서, 본 연구에서는 주로 중소형 선박엔진의 크랭크샤프트 단조에 사용된 형단조법인 TR단조 방법을 대형 크랭크 스톱에 적용하고자, 새로운 단조 장치를 제안하고 적용한계를 파악하고자 하였다.

1. 현대중공업 기술개발본부 산업기술연구소
2. 현대중공업 엔진기계사업본부

2. 대형 크랭크 스톱 TR 단조 장치

그림 1은 중형 크랭크 스톱와 대형 크랭크 스톱의 형상을 비교한 것이다. 체적을 비교해 보면 대형 크랭크 스톱의 체적은 중형 크랭크 스톱의 약 60배이며, 중형 크랭크 스톱의 stroke/width의 비가 0.44인 반면, 대형 크랭크 스톱은 0.83이다. 그림 1의 중형 크랭크 스톱 성형하중은 약 2500톤인데, 유사한 공정을 거칠 경우 체적이 크면, 큰 성형하중을 필요로 하는 점에서 대형 크랭크 스톱에 형단조 적용 시 성형하중은 공정 제약조건이 된다. 그리고, 형상측면에서 대형 크랭크 스톱은 중형 크랭크 스톱보다 폭(width)에 비해 웹 길이가 2배 정도 길기 때문에, 이러한 형상을 단조하기 위해서는 기존의 TR단조 공정과는 다른 기구학적 특성을 가지는 단조 장치가 필요하다.

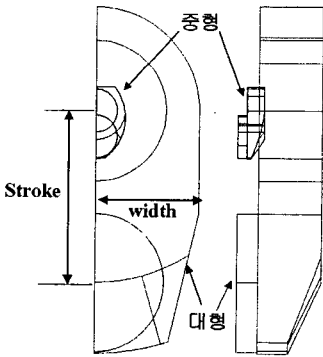


Fig. 1 Comparison of shape between large and middle crank throw

그림 2는 기존 TR장치의 개념도이며, 본 연구에서는 기존 TR장치에 대형 크랭크 스톱의 형상을 고려하여 wedge와 link가 결합된 형태의 형단조 장치를 제안하였다. 기존 TR장치와 wedge와 link가 결합된 형단조 장치의 가장 큰 차이는 수평방향으로 움직이는 업셋팅 금형의 거동에 대한 수직방향 프레스 거동의 차이로서, wedge와 link가 결합된 형단조 장치는 그림 3과 같이 동일한 수평 방향의 업셋팅 변위에 대해 큰 수직 변위를 나타내는 기구학적 특성을 가진다. 이러한 기구학적 특성은 중형 크랭크 스톱에 비해서 stroke가 큰 대형 크랭크 스톱을 형단조하는데 적절하다.

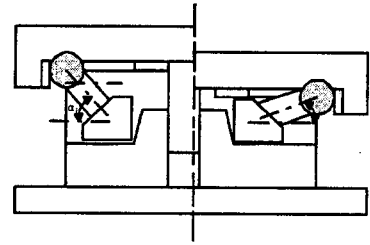


Fig. 2 Schematic drawing of TR device

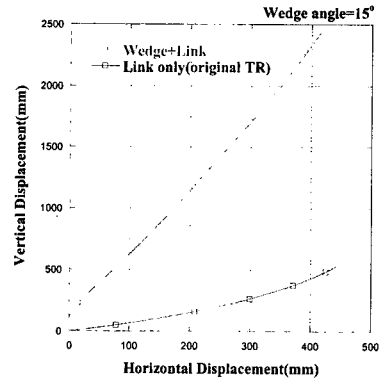


Fig. 3 Change of vertical displacement of press with horizontal displacement of upsetting die

TR장치는 수직방향의 프레스 하중을 수평방향으로 증폭, 전환시킨다. 그림 4는 그림 2의 기존 TR장치와 wedge와 link가 결합된 형단조장치의 프레스 하중에 대한 업셋팅 하중의 증폭비를 link의 경사각에 따라 나타낸 것이다. 기존 TR장치는 link의 경사각이 감소함에 따라 업셋팅 하중의 변화가 큰 반면에 wedge와 link가 결합된 형단조장치는 업셋팅 하중의 변화가 적음을 알 수 있으며, link각도에 대해 일부 영역을 제외하고 기존보다 더 큰 증폭비를 가진다.

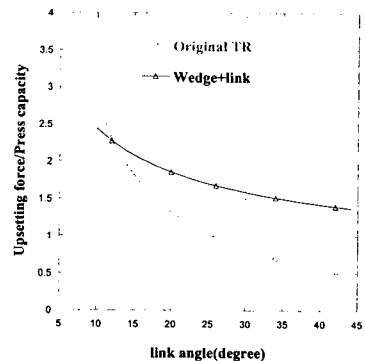


Fig. 4 Changes of the amplitude ratio of the press load with the link angle

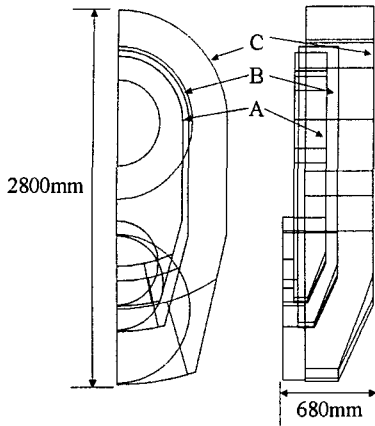


Fig. 5 Comparison of large crank throw

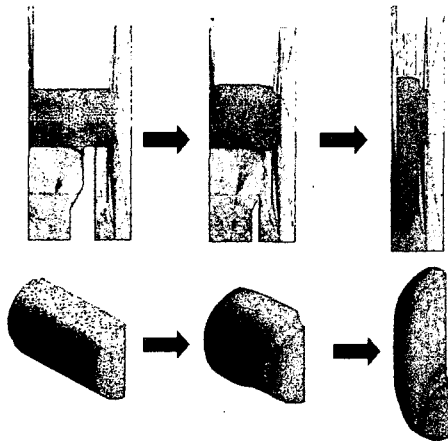


Fig. 6 Analysis result of crank throw "A" forged by TR device

3. 성형 공정에 대한 유한요소 해석

Wedge와 link가 결합된 형단조장치의 적용성 및 적용 한계를 조사하기 위하여 대형 크랭크 스로우 중에서 3가지 타입을 선정하였다. 선정된 3가지 타입을 그림 5에 나타내었으며, 크기가 작은 순서로 A, B, C로 표기하였다.

크랭크 스로우 A의 경우 크기가 가장 작기 때문에 기존 TR장치로 단조하는 공정을 해석하였다. 이 과정에서 상하부에 치수불량이 발생하여 그림 6과 같이 foreanvil을 도입하는 공정을 적용하여 정삭치수를 만족하도록 하였으며, 소요 프레스하

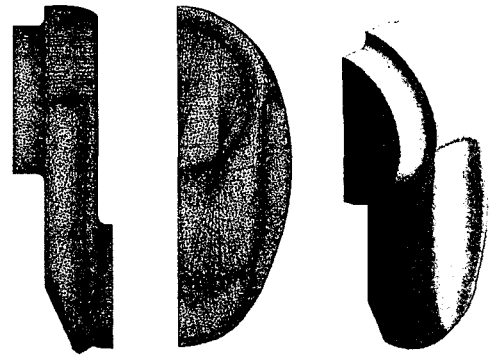


Fig. 7(a) Analysis result of crank throw "B" forged by the proposed closed-die forging equipment

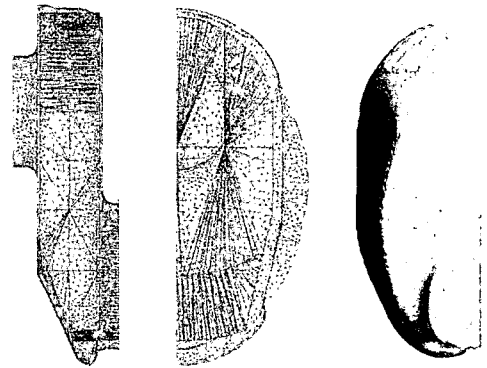


Fig. 7(b) Analysis result of crank throw "C" forged by the proposed closed-die forging equipment

중은 약 4200톤이다.

프레스 작업공간의 크기에 따른 link의 길이제 한에 따라 크랭크 스로우 B와 C는 wedge와 link가 결합된 형단조장치로 단조하는 공정을 해석하였다.

그림 7의 (a)와 (b)는 크랭크 스로우 B와 C의 해석결과를 정삭치수와 비교한 것으로 해석결과는 정삭품의 치수를 만족함을 알 수 있으며, 크랭크 스로우 B와 C의 각 프레스 하중은 11,000톤과 30,000톤이다.

4. 결론

대형 크랭크 스로우에 형단조 공법의 적용가능성을 평가하기 위하여, 단조 장치별 기구학 특

성을 규명하고, 단조 방안 및 적용한계를 유한요소 해석을 이용하여 평가하였으며, 주요 결과는 다음과 같다.

(1) Long-stroke를 가지는 대형 크랭크 스톱을 형 단조하기 위해서 wedge와 link가 결합된 단조 장치가 적절하다.

(2) Wedge와 link가 결합된 단조 장치를 이용한 성형 공정 해석을 통해 크랭크 스톱의 크기에 따른 성형하중을 평가하였다.

참 고 문 헌

- [1] 김동영 외 3 인, 2003, 선박용 크랭크 스톱 자유단조 예비성형체 형상 연구, 한국소성가공학회 춘계학술대회 논문집, pp. 191~194.
- [2] 김동영, 2003, 대형 크랭크 스톱 단조의 FEA 적용, DEFORM user group meeting 발표자료집