

언벤딩 개념을 이용한 선박용 대형 크랭크 쓰로우 굽힘단조 공법 개발

이성모^{1#}·이원재¹·김인호¹·박연구²·박효준²

Development of Bending Process for Crank Throw of Large Marine Engine Using Unbending Concept

S. M. Lee, W. J. Lee, I. H. Kim, Y. G. Park, H. J. Park

Abstract

The purpose of this study is to develop the optimum shape of blank for the crank throw of large marine engine in order to reduce manufacturing cost and forging defects. The effects of the curvature radius and the height of wing part of blank selected as design variables on the defects and machining margin of final products after forging process were investigated using FEA. Based on the results, the optimum shape for the blank of the crank throw was proposed and verified by experiment.

Key Words : crank throw, free forging, bending, blank design

1. 서 론

대형 선박엔진에 장착되는 주요 핵심 부품인 크랭크 샤프트는 실린더의 폭발력과 관성력을 반복적으로 받으며 고속 회전하기 때문에 높은 응력과 진동을 받는다. 크랭크 샤프트는 크랭크 쓰로우, 저어널, 핀, 플랜지 4 부분으로 구성되어, 크기에 따라 일체형과 조립형으로 구분된다. 일체형은 길이가 약 2,700 ~ 5,300mm이며 직경은 약 400 ~ 700mm로 중형 엔진에 사용된다. 조립형은 길이가 약 7,000 ~ 20,000mm이며 직경은 약 2,300 ~ 3,000mm로 큰 성형하중이 요구되므로 크랭크 쓰로우와 저어널을 각각 제작한 후 열박음으로 조립하여 생산하며 주로 대형 엔진에 사용된다. 대형 크랭크 쓰로우는 "U"자 형상으로

커넥팅 로드나 샤프트류의 환봉 형태 단조품에 비하여 많은 단조 경험과 기술이 요구되며, 원형의 핀 부분은 잉여 소재가 많이 발생하여 크기에 따라 4 ~ 14 시간의 수동 화염 절단 작업을 하고 있다. 이로 인해 많은 공수가 소요될 뿐만 아니라 유해 가스와 소음으로 작업자들이 기피하고 있는 공정이다. 따라서 국내외의 여러 업체들은 대형 크랭크 쓰로우 제작시 후 가공을 최소화하기 위한 연구를 진행 중에 있다[1~3].

본 연구에서는 대형 크랭크 쓰로우 핀 부분의 수동 화염 절단 작업을 최소화하고 핀부 접침과 날개 두께 감소 현상을 제거하기 위해 언벤딩 개념을 제안하였으며 전산해석을 통해 블랭크 및 금형 형상을 설계하고 시험단조를 통해 타당성을 검증하였다.

1. 현대중공업 산업기술연구소
2. 현대중공업 엔진기계사업본부
교신저자 E-mail : leesm12@hhi.co.kr

2. 본 론

2.1 해석 조건

대형 크랭크 스로우 단조공정에 대한 해석 조건을 Table 1에 나타내었으며 블랭크 형상 설계를 위한 공정 변수별 해석은 평면 변형률 조건으로 가정하여 2차원 해석을 수행하였으며, 이 결과로부터 설계된 블랭크를 이용한 시험단조의 타당성을 검증하기 위해 3차원 해석을 수행하였다.

Table 1 단조공정 해석 조건

Material	Temperature [°C]	Punch speed [mm/sec]	Friction coefficient
AISI 1045	1250	20	0.3

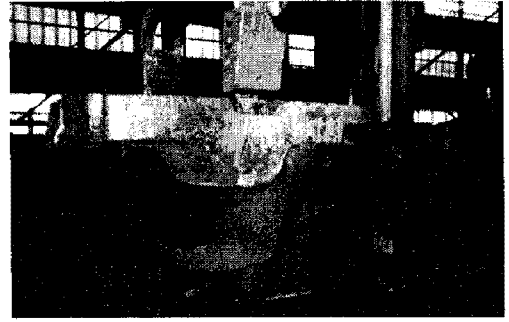
2.2 언벤딩 예비성형체 설계

Fig. 1은 크랭크 스로우의 기존 단조공정을 나타낸 것이다. Fig. 1의 (b)와 같이 굽힘단조 후 원형인 핀 부분에 많은 잉여 소재가 존재하고 있어 많은 후 가공 시간이 소요되며 겹침과 날개 두께 감소 현상이 발생한다.

본 연구에서는 이러한 문제점을 해결하기 위해 Fig. 2와 같이 굽힘단조 후의 블랭크 형상에서 날개를 펼친 굽힘단조 전의 형상을 역으로 설계하는 언벤딩 개념을 도입하여 블랭크 형상을 적정화하고자 하였다.

Fig. 3은 언벤딩 블랭크 형상을 나타낸 것이다. A부터 M까지의 치수 중 단조 품질에 큰 영향을 미치는 날개 높이(G)와 하부 곡률 반경(H)을 설계 변수로 선정하였다.

Fig. 4는 날개 높이에 따른 언벤딩 후의 블랭크 형상을 나타낸 것이다. 원형 금형을 이용하여 날개를 자연스럽게 펼친 날개 높이가 715mm인 블랭크와 날개와 핀 연결부의 하부 곡률이 생기는 위치에 원형 금형을 추가로 설치하여 핀부를 865mm로 높인 두 경우의 블랭크 형상을 볼 수 있다.



(a) 블랭크



(b) 굽힘단조

Fig. 1 크랭크 스로우 기존 단조공정

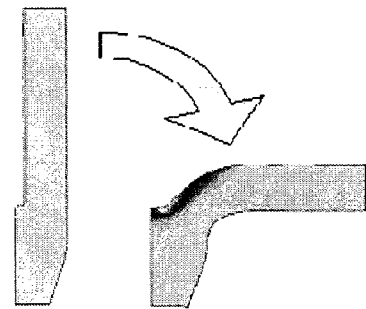


Fig. 2 언벤딩 개념

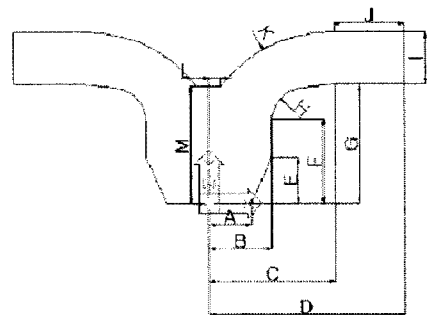


Fig. 3 언벤딩 블랭크 형상

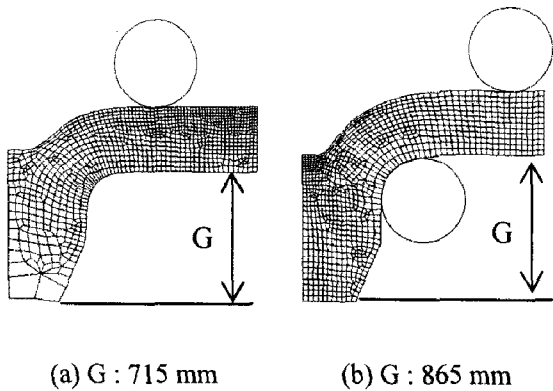


Fig. 4 날개 높이(G)에 따른 언벤딩 후 블랭크 형상

Fig. 5는 날개 두께와 굽힘 하중에 대한 날개 높이의 영향을 나타낸 것이다. 초기 날개 두께는 380mm 이며 날개 높이가 715mm와 865mm 인 경우에 각각 굽힘 하중은 약 370톤으로 거의 유사하였으나 굽힘 후 날개 두께는 각각 363mm와 376mm로 다소 큰 차이를 보였다. 이는 초기 블랭크의 두께가 동일한 경우에도 날개 높이를 높임으로써 굽힘 후 날개 두께 감소량을 17mm에서 4mm로 대폭 감소시킬 수 있음을 의미한다.

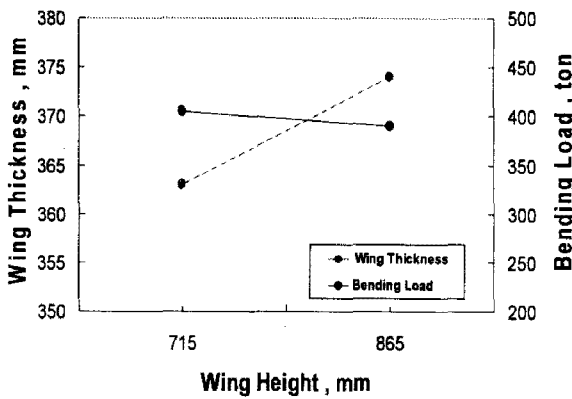


Fig. 5 날개 두께와 굽힘 하중에 대한 날개 높이의 영향

Fig. 6은 날개 두께에 대한 하부 곡률 반경(H)의 영향을 나타낸 것이다. 하부 곡률 반경이 R250, R380인 경우에 날개부 가공 여유는 각각 6.7mm와 10.2mm 이다. 즉, 하부 곡률 반경을 증가시킬 때 더 많은 가공 여유를 확보할 수 있음을 알 수 있다.

Fig. 5와 Fig. 6을 통해 언벤딩 블랭크의 날개 높이와 하부 곡률 반경을 증가시켜 굽힘단조시 핀부와 날개의 연결부가 자연스럽게 굽혀지게 함으로써 날개부 두께 감소를 제어할 있음을 알 수 있다.

Fig. 7은 날개 높이와 하부 곡률 반경의 변화에 따른 영향을 분석하여 제시한 언벤딩 블랭크와 이에 적합하게 제안한 금형의 3차원 캐드(CAD) 모델을 도시한 것이다. 이 모델을 이용하여 전산해석을 수행한 결과를 Fig. 8에 나타내었다. Fig. 8과 같이 최종 성형 후 최소 27mm의 가공여유를 확보할 수 있음을 알 수 있다.

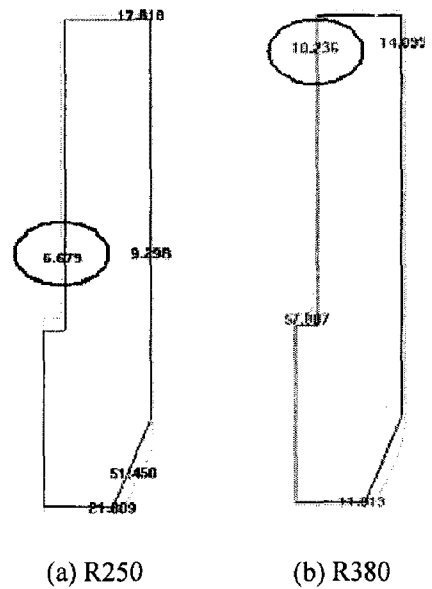


Fig. 6 날개 두께에 대한 하부 곡률 반경(H)의 영향

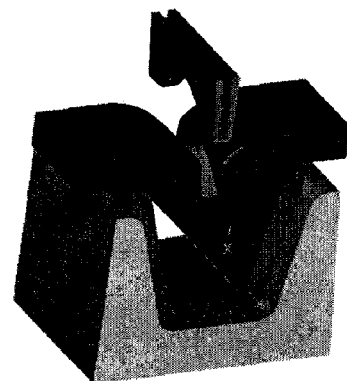


Fig. 7 언벤딩 블랭크와 금형의 3차원 캐드 모델

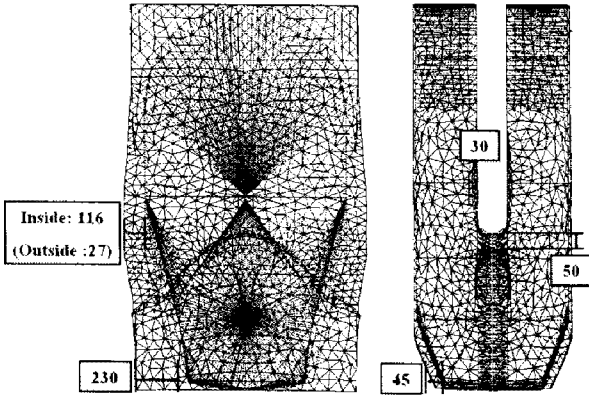


Fig. 8 언벤딩 블랭크를 이용한 단조공정 후의 가공여유

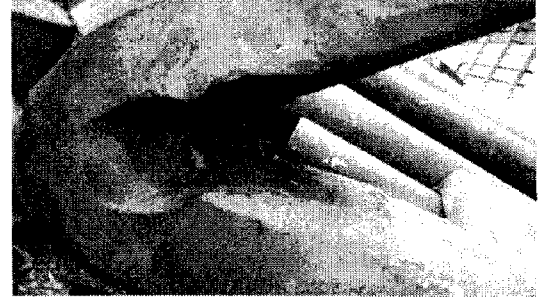
2.3 시험단조

Fig. 9는 본 연구에서 제안한 언벤딩 블랭크의 타당성 평가를 위한 시험단조 결과를 나타낸 것이다. Fig 9와 같이 핀부에서 겹침이 발생하지 않았다. 또한 기존의 블랭크를 이용한 단조공정에서 핀부 가공 시간이 6시간, 날개부 두께 감소량이 60mm였으나 언벤딩 블랭크를 이용한 경우에는 핀부 가공 시간이 2시간, 날개 두께 감소량이 20mm로 감소함으로써 소재 절감 및 가공 시간 단축에 따른 생산성 향상 효과가 매우 큼을 알 수 있다.

이는 본 연구에서 제안한 언벤딩 개념을 이용한 크랭크 스로우의 블랭크 설계가 타당함을 의미한다.



(a) 언벤딩 블랭크



(b) 굽힘단조 후 소재 형상

Fig. 9 시험단조 결과

3. 결론

대형 크랭크 스로우의 굽힘단조 공정에서 핀부 소재 절감 및 품질 향상을 위해 전산해석과 시험단조를 통해 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 언벤딩 블랭크에 대해 날개 높이 및 하부 곡률 반경을 변수로 한 전산해석을 통해 적정 언벤딩 블랭크를 설계하였다.
- (2) 언벤딩 블랭크의 굽힘단조에 적합한 금형을 제안하고 이를 이용한 시험단조를 통해 금형 설계 적정성을 검증할 수 있었다.

참 고 문 헌

- [1] L. Jilek, B. Dvorak, B. Molinek, 1994, Big Crank Shafts Forging, 12th IFM Conference, Chicago, Illinois
- [2] 김동영, 김동권, 2003, 선박용 크랭크스로우의 자유 단조 예비성형체 형상 연구, 한국소성가공학회 춘계학술대회 논문집, pp. 191~194
- [3] 김영득, 김동영, 김동권, 김재철, 2003, 대형 크랭크스로우의 예비성형체 양끝단부 재료 특성과 단조공정에 관한 연구, 한국정밀공학회 춘계학술대회 논문집, pp. 1513~1516