

핫스탬핑 부품의 전단가공에서 전단 하중의 감소 및 트리밍 금형 수명 향상을 위한 국부 연화 방법

최홍석¹· 임우승¹· 강충길²· 김병민[#]

A Local Softening Method for Reducing Die Load and Increasing Service Life in Trimming of Hot Stamped Part

H. S. Choi, W. S. Lim, C. G. Kang, B. M. Kim

(Received July 11, 2011 / Revised September 5, 2011 / Accepted September 6, 2011)

Abstract

In general, hot stamped component is trimmed by costly and time consuming laser cutting when the material strength is over 1,500MPa. The aim of this work was to demonstrate that the trimming die life is improved and the trimming load is decreased by lowering the strength of the region to be trimmed. The model employed in this study was a hat shape, similar to the cross section of many hot stamped products. FE-analysis of hot stamping process was performed to evaluate the effect of tool shape on cooling rate at the area to be trimmed. The best tool shape was thus identified, which created slower cooling and lower hardness at the region to be trimmed. The wear at the cutting tool edge was also reduced.

Key Words : Cooling Rate, Hot Stamping, Local Softening, Tool Life, Trimming

1. 서 론

경량화 및 충돌 안전성을 향상시키기 위해 1,500MPa급의 인장강도를 가진 핫스탬핑 부품이 차체에 적용되고 있다[1, 2]. 그러나 이러한 부품은 높은 강도 및 경도 때문에 대부분 고비용, 저효율의 레이저에 의해 최종 제품으로 트리밍 되고 있다[3]. 따라서 최근에는 핫스탬핑 부품의 절단 시, 생산성 향상 및 비용 감소를 위한 프레스 트리밍 공정에 대한 연구가 진행되고 있다. So 등은 블랭킹 각도와 클리어런스가 금형의 내부 응력에 미치는 영향에 대해 조사하였으며, 금형에 작용하는 응력을 감소시킴으로써 수명이 증대된다고 주장하였다[4]. 또한 Valls 등은 핫스탬핑 부품의 다이 트리밍을 위한 다양한 금형재의 내마멸성에 대해

조사하였다[5]. Picas 등은 전단 금형 재료의 선택에 있어 미세 조직과 기계적 특성을 중요하게 고려해야 한다고 주장하였다[6]. 이러한 연구자들은 핫스탬핑 부품의 트리밍 시 금형의 재질을 개선한다거나, 공정 변수에 따른 전단면의 거동 등을 평가한 것이었다. 따라서 근본적으로 높은 경도를 가진 핫스탬핑 부품의 트리밍 시 금형 수명의 향상 효과를 크게 기대하기는 어렵다고 판단된다.

본 연구에서는 핫스탬핑 공정에서 냉각속도 제어를 통하여 트리밍부의 경도를 낮추는 방안을 제시하였다. 금형의 마멸 및 손상은 소재의 경도에 큰 영향을 받기 때문에 트리밍부의 경도 저하는 결과적으로 금형의 수명을 향상시킨다. 이를 위하여 트리밍 부를 공랭시키기 위한 핫스탬핑 금형을 설계하였으며 제작된 금형을 이용하여 모

1. 부산대학교 정밀가공시스템

2. 부산대학교 기계공학부

교신저자: 부산대학교 기계공학부, E-mail: bmkim@pusan.ac.kr

자 형상(Hat-shape)의 단면을 가진 제품을 핫스탬핑 평한 후 트리밍을 수행하였다. 본 연구의 타당성을 평가하기 위하여 트리밍 하중 및 금형 선단부의 손상 정도를 일반 핫스탬핑 제품의 트리밍 공정과 비교하였다.

2. 트리밍부 국부 연화를 위한 핫스탬핑 금형 설계

2.1 핫스탬핑 금형 설계 방안

Fig. 1에 모자형상의 단면을 가진 제품의 성형을 위한 핫스탬핑 금형을 나타내었다. 본 연구에서의 트리밍부 국부 연화를 위하여 냉각 시 트리밍부에는 금형의 직접적인 접촉을 피할 수 있도록 설계하였다. 이를 통하여 트리밍부의 냉각속도 제어가 가능하다.

2.2 유한요소해석

Fig. 2에 금형의 형상을 선정하기 위한 공정 변수 및 유한요소해석 절차를 나타내었다. 유한요소해석은 핫스탬핑 공정을 정확히 모사할 수 있도록 소재의 이송, 성형, 급랭 및 공랭 공정에 대해서 수행되었다. 고려된 공정변수는 트리밍부로부터의 오프셋량을 선정하였는데, 오프셋이 너무 작을 경우, 열전도에 의해 공랭효과는 저하될 것으로 예상되고, 너무 클 경우 미성형에 따라 치수 정밀도가 나쁠 것으로 생각된다. 따라서 오프셋의 범위는 트리밍 라인으로부터 2, 4, 6mm로 선정하였다. 한편, 핫스탬핑 부품의 효율적인 냉각을 위한 급냉 공정을 해석하기 위하여 냉각 채널 직경, 냉각수의 유량 및 속도 등에 따라 계산된 대류열전달 계수를 냉각 채널 내부에 경계조건으로 부여하였다[7].

Fig. 3에 핫스탬핑 후 각 오프셋량에 따른 트리밍부의 냉각속도 및 이에 따른 상분율을 나타내었다. 상분율은 보온장관의 냉각속도에 따른 경도값을 참고로 하여 계산하였다[8]. 오프셋량이 2mm인 경우, 트리밍부의 조직이 100% 마르텐사이트로 변태되는 것으로 예상된다. 한편, 오프셋량이 4mm와 6mm인 경우에는 공랭에 의해 트리밍부에 연결의 베이나이트 조직이 형성되는데 각각 15% 및 20%의 분포를 가지는 것으로 예상된다. 본 연구에서는 오프셋에 따라 베이나이트의 양적인 측면에서 크지 않을 것으로 예상되기 때문에 비교적 치수 오차가 적은 4mm의 오프셋량을 적용하는 것으로 하였다.

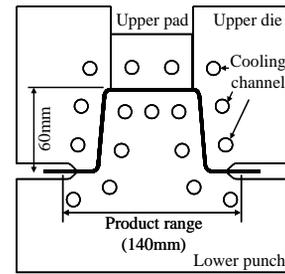


Fig. 1 Schematic drawing of locally softened hot stamping for manufacturing hat shape part

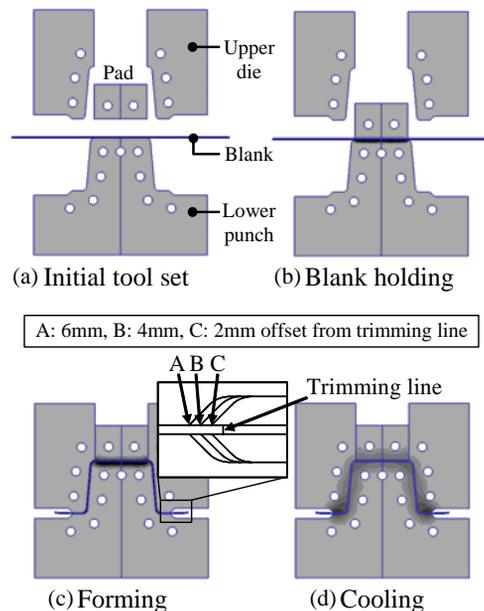


Fig. 2 FE-analysis model and analysis procedure of locally softened hot stamping

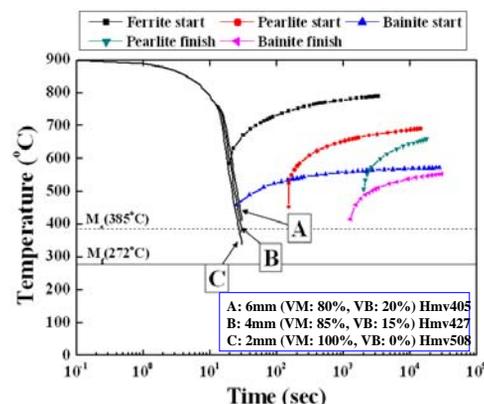


Fig. 3 Cooling rate at the part to be trimmed according to the tool shape in LSHS process

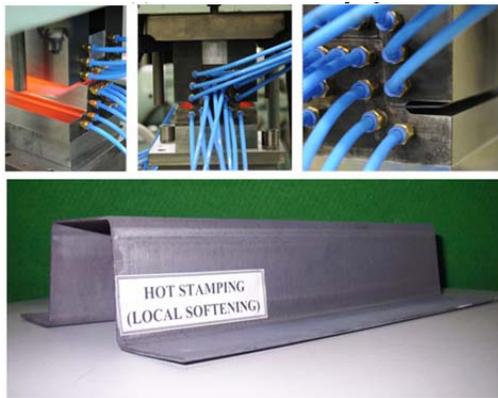


Fig. 4 Experimental procedure and hat shape product by locally softened hot stamping

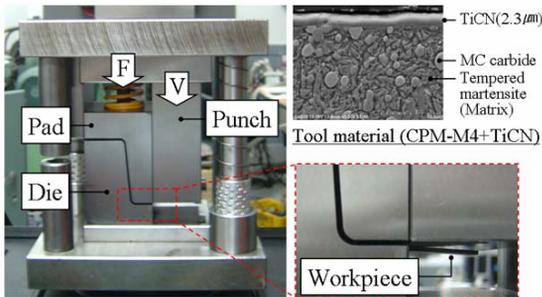


Fig. 5 Trimming apparatus and microstructure of cutting tool steel

3. 실험 및 결과 고찰

3.1 핫스탬핑 실험

Fig. 4에 국부 연화 즉, 오프셋 4mm를 적용한 금형을 이용한 핫스탬핑 실험 사진을 나타내었다. 핫스탬핑 소재로 적용되고 있는 알루미늄 도금 보론강판(22MnB5)을 전기로에서 900℃에서 5분간 가열된 후 성형하였으며 냉각은 약 20초가 수행되었다.

3.2 트리밍 실험 및 고찰

Fig. 5에 트리밍 실험 개략도를 나타내었다. 트리밍 금형은 패드, 펀치 및 다이로 구성되어 있으며 트리밍 공정 동안 500kg의 홀딩력을 부가하였다. 금형재는 트리밍 시 내마모성에 가장 우수하다고 알려져 있는 분말하이스(CPM-M4)를 사용하였으며 TiCN 코팅처리하였다. 실험은 무윤활 조건에서 수행되었고, 금형의 마멸 형상을 각 타수별로 주사전자현미경 관찰함으로써 평가하였다.

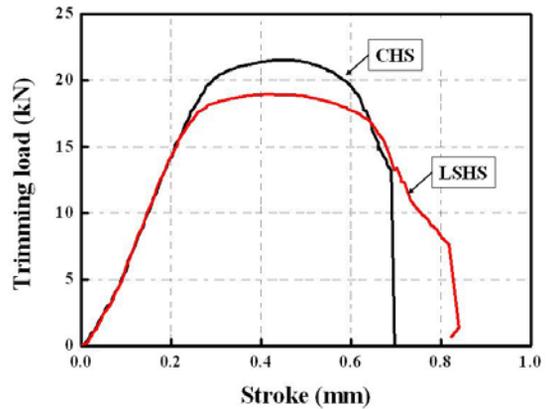


Fig. 6 Trimming load-displacement curves according to hot stamping processes

Fig. 6은 일반 핫스탬핑 및 국부 연화 핫스탬핑을 적용한 시험편을 트리밍 하였을 때 하중-변위 선도를 나타낸 것이다. 일반적인 방법에 의해 핫스탬핑을 수행한 경우, 트리밍 하중은 약 22kN으로 측정되는 반면 국부 연화 핫스탬핑을 적용하였을 때의 트리밍 하중은 약 18kN으로 나타났다. 이는 국부 연화 핫스탬핑에 따른 트리밍부의 강도 저하 때문이다. 이러한 트리밍 하중의 감소는 결과적으로 트리밍 금형의 선단부에 작용하는 면압을 낮추기 때문에 수명의 향상에 기여할 것으로 예상된다.

Fig. 7에 50회 트리밍 후의 금형 선단부의 손상 정도를 주사전자현미경으로 촬영하여 나타내었다. 그림에서 알 수 있듯이 50타 후 일반 핫스탬핑 공법에 의한 제품을 트리밍 하였을 때는 소성변형을 동반한 심각한 마멸이 발생하는 것에 비해 국부 연화 방식을 이용하면 트리밍 금형에 거의 손상이 없는 결과를 나타내고 있다. 이러한 원인은 핫스탬핑 공정에서 트리밍부의 공랭에 의해 일어나는 부분적인 경도 저하 뿐만 아니라 응집된 형상의 베이나이트 조직의 석출이 큰 원인인 것으로 판단된다. Fig. 8은 각각의 공법에 의해 제작된 모자형상 시험편의 트리밍부 미세 조직을 나타내고 있으며 그림에서 확인할 수 있듯이 일반 핫스탬핑 제품의 트리밍부는 침상의 마르텐사이트 조직을 나타내고 있는 반면, 국부 연화 시험편의 조직은 덩어리 형상의 베이나이트로 나타났다. 이러한 조직은 침상의 조직에 비해 금형 선단부에 작용하는 응력 집중을 완화시킬 것으로 사료되며, 트리밍 금형의 수명을 향상시키는 것으로 예상할 수 있다.

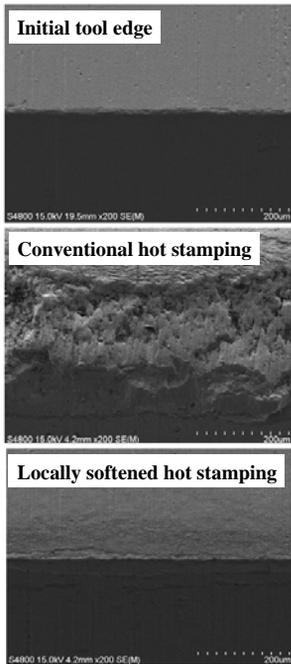


Fig. 7 SEM images of damage in the cutting tool edge after trimming

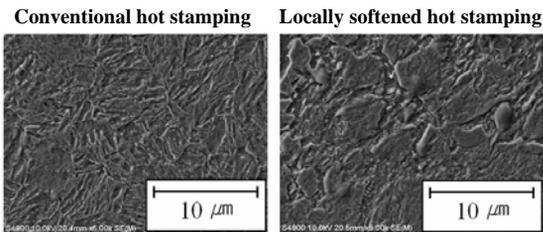


Fig. 8 Microstructure at the trimming line of conventionally and local softened hot stamped components

4. 결론

본 연구에서는 핫스탬핑 제품의 프레스 트리밍이 가능하도록 하는 국부 연화 핫스탬핑 방법을 제시하였다. 유한요소해석과 실험 결과를 바탕으로 다음과 같은 결론을 도출할 수 있었다.

(1) 본 연구에서 제시하는 트리밍부의 국부 연화 방법은 핫스탬핑 공정에서부터 금형의 트리밍부를 공랭시키기 위한 구조를 설계하는 것이며, 트리밍부로부터 약 4mm의 오프셋량을 부여하였다.

(2) 국부 연화 핫스탬핑을 통하여 트리밍 하중

을 약 18%가량 감소시킬 수 있었다.

(3) 50회 트리밍 후 금형 선단부의 손상 정도를 평가한 결과, 일반 핫스탬핑 제품을 트리밍 하였을 때는 심각한 손상이 발생한 반면, 국부 연화 핫스탬핑 제품을 트리밍 한 경우에는 약간의 마멸을 제외하고는 거의 손상이 나타나지 않았다. 이는 국부 연화에 의한 트리밍부의 경도 및 강도 저하뿐만 아니라 괴상의 베이나이트 조직의 석출도 영향을 미친 것으로 판단된다.

후 기

본 연구는 지식경제부와 한국산업기술재단의 전략기술인력양성사업으로 수행된 연구결과임.

참 고 문 헌

- [1] K. P. Kang, K. H. Lee, Y. S. Kim, M. W. Ji, Y. S. Suh, 2008, Prediction of phase transformation of boron steel sheet during hot press forming using material properties modeler and DEFORMTM-HT, Trans. Mater. Process., Vol. 17, No. 4, pp. 249~256.
- [2] D. H. Lee, T. J. Kim, J. D. Lim, H. J. Lim, 2009, Development of high strength steel body by hot stamping, Trans. Mater. Process., Vol. 18, No. 4, pp. 304~309.
- [3] R. Kollack, J. Aspacher, R. Veit, 2009, Efficiency of hot forming processes, Proc. 2nd Int. Conf. on Hot Steel Metal Forming of High-Performance Steel CHS²(eds. M. Oldenburg, K. Steinhoff, B. Prakash), Verlah Wissenschaftliche Scripten, Auerbach, Germany, pp. 173~179.
- [4] H. So, H. Hoffmann, R. Golle, 2009, Blanking of press hardened ultra high strength steel, Proc. 2nd Int. Conf. on Hot Steel Metal Forming of High-Performance Steel CHS²(eds. M. Oldenburg, K. Steinhoff, B. Prakash), Verlah Wissenschaftliche Scripten, Auerbach, Germany, pp. 137~146.
- [5] I. Vall, B. Casas, N. Rodriguez, 2009, Improving die durability in hot stamping and hard cutting, Proc. 2nd Int. Conf. on Hot Steel Metal Forming of High-Performance Steel CHS²(eds. M. Oldenburg, K. Steinhoff, B. Prakash), Verlah Wissenschaftliche Scripten, Auerbach, Germany, pp. 331~338.
- [6] I. Picas, R. Hernandez, D. Casellas, B. Casas, I.

- Valls, 2008. Tool performance in cutting of hot stamped steels, Proc. 1st Int. Conf. on Hot Steel Metal Forming of High-Performance Steel CHS²(eds. M. Oldenburg, K. Steinhoff, B. Prakash), GRIPS media GmbH, Bad Harzburg, Germany, pp. 179~189.
- [7] W. S. Lim, K. J. Nam, H. S. Choi, B. M. Kim, 2010, A study on optimization of cooling channel design for uniform hardness of hat-shape component in hot stamping, Proc. Kor. Soc. Mech. Eng. Fall Conf., Kor. Soc. Mech. Eng., Busan, Korea, pp. 12~17.
- [8] M. Naderi, L. Durrenberger, A. Molinari, W. Bleck, 2008, Constitutive relationships for 22MnB5 boron steel deformed isothermally at high temperatures, Mater. Sci. Eng., A, Vol. 478, pp. 130~139.