Design & Manufacturing, 제16권 제3호, 2022
Design & Manufacturing, Vol.16 No.03, 2022 ISSN 2800-0323

피어싱 공정에서의 펀치 마모가 전단면에 미치는 영향 분석

전용준[1] · 김동언[†]
한국생산기술연구원 금형성형연구부문[1,†]

Analysis of the effect of punch wear on shear surfaces in the piercing process

Yong-Jun Jeon[1] · Dong-Earn Kim[†]
Mold & Metal Forming R&D Department, Korea Institute of Industrial Technology[1,†]

(Received January 00, 2023 / Revised February 00, 2023 / Accepted March 00, 2023)

Abstract: The recent increasing application rate of advanced high-strength steel(AHSS) for automotive parts makes it difficult to ensure the durability of forming tools. Significant load and friction generated during the piercing process of AHSS increase the wear rate and the damage degree to dies. These harsh process conditions also yield product failures, such as dimensional inconsistency of pierced holes and insufficient quality of hole's sheared edge. This study analyzed the effect of punch wear on the sheared surface of pierced parts and the forming load during the piercing process. Wear-shaped punches showed approximately 20% higher piercing load than normal-shaped punches, and the rollover ratio of the sheared surface also increased. It is considered that the dull edge of wear-shaped punches does not penetrate directly into the material but shears after tensioning it in a piercing direction. In addition, wear-shaped punches experienced compressive load even after completing the piercing process during the down-stroke and tensile load during the up-stroke. This load variation is related to the smaller diameter piercing holes produced by wear-shaped punches compared to normal-shaped punches. Thus, we demonstrated the predictability of the wear level of dies through a comparative analysis of the piercing load pattern.

Key Words: Piercing, Piercing load, Punch shape, Shear surface, Wear

1. 서 론

최근 프레스 성형품의 경량화와 안전성 확보를 위해 소재 강도가 높아지고 있는 추세이다. 그러나 소재의 높은 강도는 제품 성형 시 높은 하중이 부과되어 금형의 마모와 파손을 야기하게 된다.

프레스 공정 중 제품 내부에 구멍을 뚫어내는 피어싱 공정은 소재 전단 시 높은 하중이 발생되어 금형 내구성 확보가 어려운 공정이다[1]. 전단 시 직접적으로 하중을 부여하는 펀치는 소재와의 마찰로 인한 마모가 주로 발생되어 전단면 불균일, 치수 불량을 야기하게 된다.

이와 관련하여 전단 금형에서의 마모를 예측하고 발생원인 분석을 통해 불량을 저감하고자 하는 연구가 진행되고 있다.

마모 예측을 위한 연구로는 주로 유한요소해석을 통한 마모 예측 모델 수립 후 비교 검증을 하는 연구가 진행되었다. Hambli는 블랭킹과 피어싱 공정에서의 펀치의 마모 변화를 예측하기 위해 공구 마모 예측 알고리즘을 유한 요소 코드로 구현하고 실험 결과와 해석 결과를 비교 검증 하였다[2]. 또한 Ko 등은 피어싱 공정에서의 Ti-N 코팅된 펀치의 마모 메커니즘을 확인 한 후 마모 프로파일 예측을 위한 유한요소해석 기반 모델링 기법을 수립하고 검증하였다[3].

금형 마모에 대한 실험적 연구로는 공정 조건에 따른 마모 발생 분석 및 마모에 영향을 미치는 주요 인자에 대한 연구가 주로 진행되었다. Chumum 등은 피어싱 공정에서 공구 마모에 미치는 주요 요인은 피어싱 에너지이며 클리어런스가 작을수록 펀치

1. 한국생산기술연구원
† 교신저자: 한국생산기술연구원
E-mail: kdu0517@kitech.re.kr

마모가 증가다고 하였다[4]. Shivpuri 등은 마모 초기 펀치 엣지부에서 마모가 발생된 뒤 펀치 측벽부로 진행되는 펀치 마모 패턴을 확인 하였으며 마모가 증가 할수록 버 또한 증가함을 확인 하였다.[5] Olsson 등은 피어싱 후 펀치 취출 공정에서 타발 수에 따른 펀치 측벽부 거칠기 변화와 이에 따른 취출 하중 변화를 분석하였다[6].

이와 같이 프레스 전단공정에서의 마모에 대한 연구는 유한요소를 통한 마모 예측과 소재와 공정 조건에 따른 금형의 마모 패턴 분석을 위한 실험적 연구가 주로 진행되고 있다. 기존 연구의 경우는 마모가 발생되는 금형에 대한 연구만 주로 진행되었다. 그러나 펀치 마모 시 가장 우선적으로 마모 여부 확인이 가능한 성형품에 대한 전단부 분석 연구는 미미하다.

본 연구에서는 마모된 펀치가 성형품에 미치는 영향에 대해 확인하고자 하였다. 정상 펀치와 마모된 펀치에 대하여 클리어런스별 피어싱 실험 후 각 변수에 따른 하중 발생 경향을 확인하고 전단면 분포를 분석하였다. 또한 전단면과 하중 신호와의 연관성을 확인하였다.

2. 마모 펀치 적용 피어싱 시험

2.1. 마모 펀치 적용 피어싱 실험 기구

정상 펀치와 마모 펀치 적용에 따른 전단면 분석을 위해 Fig. 1과 같이 피어싱용 금형을 적용하여 실험 하였다. 피어싱 공정에서의 각 변수에 따른 하중 발생 경향을 분석하기 위해 펀치 후면에 하중 센서를 적용하여 펀치에 직접적으로 발생되는 하중을 검출하도록 하였다. 하중 센서의 경우 ConSenses GmbH[7]에서 개발한 볼트형 압전 하중 센서인 PiezoBolt를 적용하였다. 실험에 적용된 PiezoBolt의 경우 -55~55 kN의 인장 압축 하중 측정이 가능하고 볼트 타입으로 피어싱 펀치에 직접 체결이 용이하다[8].

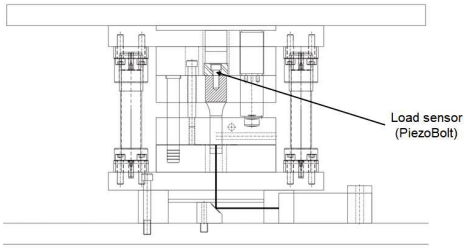


Fig. 1 Die for piercing experiments

2.2. 마모 펀치 적용 피어싱 시험 조건

피어싱 시험의 경우 직경 20 mm의 정상 펀치와 마모된 형상의 펀치를 적용하여 피어싱 실험 및 하중 신호를 도출하였다. 마모 펀치의 경우 Fig. 2와 같이 직경 20 mm 펀치로 1060 고탄소강 두께 3.5 mm 소재를 클리어런스 10% 조건에서 20,000타 피어싱 한 펀치 형상을 참고하여 가공하였다[2]. 또한 펀치와 다이간의 클리어런스에 따른 신호 분석을 위해 5, 10 %의 클리어런스 변수에 대해 시험을 수행하였다. 시험에 적용한 피어싱 속도는 20.8 mm이며, 소재는 SABC1470 두께 2 mm 열처리 전 소재를 적용하였다.

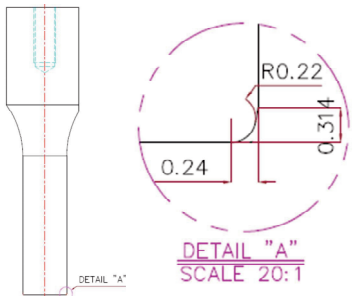


Fig. 2 The shape of wear punch(wear edge)[2]

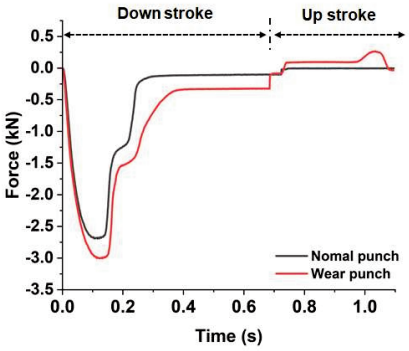
2.3. 펀치 변수별 하중 신호 분석

정상 펀치와 마모 펀치에 따른 하중 신호를 확인하여 보면 Fig. 3에서 보는 바와 같이 최대하중 기준 마모 펀치의 하중이 정상 펀치 대비 20% 높게 나타나는 것을 확인할 수 있다. 이는 정상 펀치의 경우 피어싱 공정 초기 펀치 엣지부의 날이 원활히 소재로 침투가 되나 마모 펀치의 경우 엣지부 날이 마모되어 소재로 침투가 되지 않고 소재가 펀치 작동 방향으로 인장된 후 파단이 이뤄져 하중이 높아진다고 판단된다.

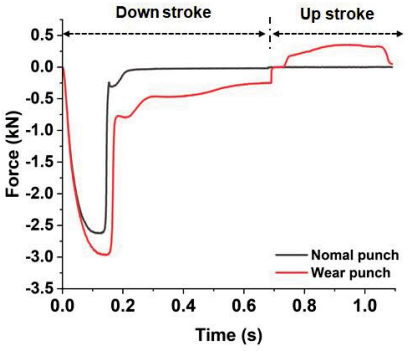
정상 펀치의 경우 마모 펀치보다 빠른 시간에 파단이 이뤄져 하중이 감소하는 경향을 보인다. 또한 마모 펀치의 경우 완전 파단 이후에도 압축 하중을 받는 것으로 보이며 펀치 취출 시 인장하중이 발생되는 것을 확인 할 수 있다. 이는 피어싱 홀의 스트리핑력에 의해 파단 이후에도 일정 수준의 하중이 유지되고 취출 시 인장 하중이 발생된다고 판단된다.

클리어런스에 따른 하중의 차이는 미미하나 클리어런스가 클 경우 상대적으로 완전 전단 시점이 빨

리지는 것을 확인 할 수 있다. 이는 클리어런스가 커질수록 굽힘 모멘트가 높아져 펀치의 소재 침투 후 빠른 전단이 이뤄진다고 판단되며 파단면 또한 클 것으로 예측되어 진다.



(a) Clearance 5%



(b) Clearance 10%

Fig. 3 The force-piercing time according to shape of punch

3. 펀치 변수에 따른 전단면 특성 평가

3.1. 펀치 변수별 단면 분석 방법

피어싱 공정에서 펀치의 마모가 전단면에 미치는 영향 분석을 위해 피어홀 내측 단면 분석을 수행하였다. 단면 분석의 경우 3차원 형상 측정기를 통해 소재 스캔 후 Fig. 4와 같이 피어싱 홀 중심부 기준으로 x, y 방향 섹션을 나눈 뒤 프로파일 추출을 통해 측정을 하였다. 단면 분석 주요 항목의 경우 펀치 침투 시 형상 변화가 이뤄지는 눌림면(Rollover)과 내측 전단부의 홀 직경, 버(Burr)에 대해 측정하였다.

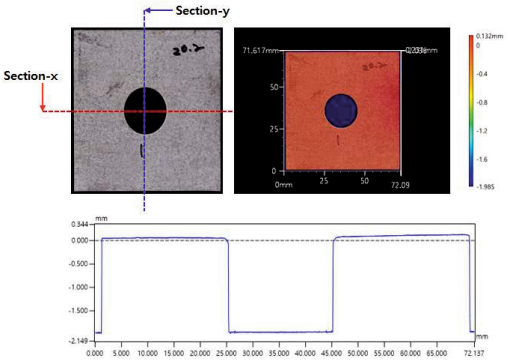


Fig. 4 Measurement of the piercing section

3.2. 펀치 변수별 눌림면 분석

펀치 변수에 따른 눌림면의 경우 Fig. 5와 같이 피어싱 홀 단면에 대하여 높이와 폭을 측정하여 분석하였다.

클리어런스에 따른 눌림면 높이와 폭의 경우 Fig. 6에서 보는 바와 같이 클리어런스가 커질수록 눌림면이 커지는 경향을 보인다. 눌림면의 경우 전단 공정에서 소재의 굽힘 모멘트가 걸려 소성변형에 의해 압축되는 현상으로 클리어런스가 커질수록 소재에 걸리는 굽힘 모멘트가 커져 증가하게 된다고 판단된다.

펀치 마모변수에 따른 눌림면 높이와 폭의 경우 정상 펀치 대비 눌림면이 크게 발생되었다. 이는 마모 펀치의 경우 펀치 엣지부가 마모에 의해 소재로 침투되지 않고 소재가 펀치 진행방향으로 인장이 됨에 따라 눌림면이 커진다고 판단된다. 또한 펀치와 소재간의 접촉면 기준으로 마모펀치 엣지부가 정상펀치 엣지부 대비 다이와의 간극이 커서 굽힘 모멘트가 크게 발생된다고 판단된다.

눌림면 분석 결과를 확인 하였을 때 마모 펀치의 하중 신호에서 확인된 높은 피어싱 하중이 눌림면 발생 경향과 연관되어진다고 판단된다.

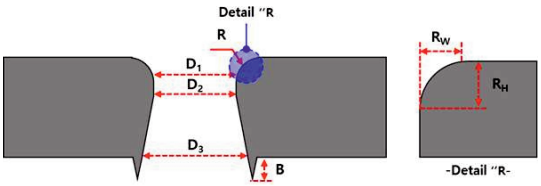
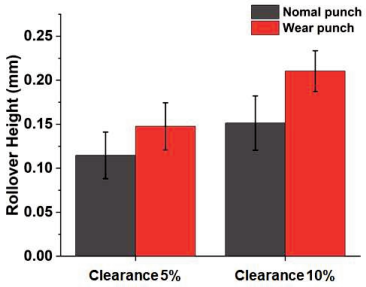
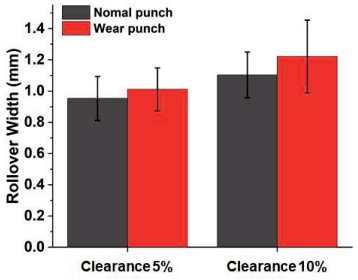


Fig. 5 Measurement position of the piercing section



(a) Rollover height



(b) Rollover width

Fig. 6 Rollover height and width according to piercing parameters

3.3. 펀치 변수별 피어싱 홀 직경 분석

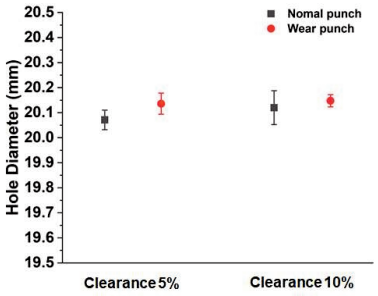
펀치 변수에 따른 피어싱 홀 직경의 경우 눌림면의 끝단 사이의 직경(D_1)과 전단면(Burnish)의 직경(D_2), 파단면의 홀 직경(D_3)을 측정하여 펀치 형상에 따른 단면 분석을 하였다. 피어싱 홀 직경 측정 부위는 Fig. 5와 같다.

변수별 피어싱 홀 직경 측정 결과는 Fig. 7과 같다. 눌림면 끝단 사이의 직경의 경우 마모 펀치 조건과 높은 클리어런스 조건에서 홀 직경이 커지는 경향을 보이며 피어싱 펀치 직경 보다 높은 수준을 보였다. 이는 초기 소재 침투시 발생되는 눌림면 발생에 의해 홀 직경이 커진다고 판단된다.

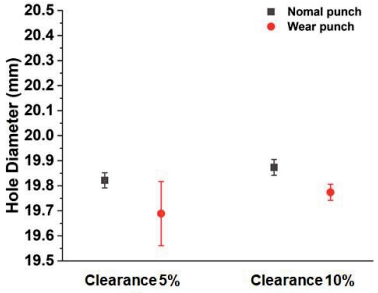
전단면의 경우 펀치 직경 보다 작은 피어싱 홀 직경을 보인다. 또한 마모 펀치가 정상 펀치 보다 작은 홀 직경을 보인다. 이는 작은 직경을 가지는 펀치 측벽부의 마모된 영역에서 전단이 발생 되어 정상 펀치 대비 작은 홀 직경을 보인다고 판단된다.

하중 신호에서 확인된 바와 같이 마모 펀치의 경우 펀치 직경보다 작은 피어싱 홀이 펀치측면을 압축하고 있어 파단 이후 하중이 유지되고 취출 시 인장 하중이 발생된다고 확인되어 진다.

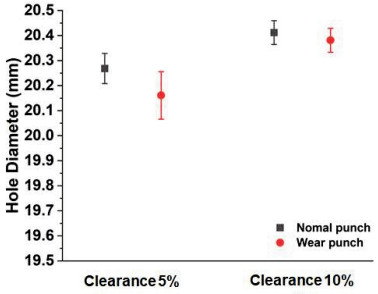
파단면의 경우 마모 펀치 적용 시 정상 펀치 대비 직경이 감소됨을 확인 할 수 있다. 이는 피어싱 공정 초기 소재를 펀치 진행방향으로 인장됨에 따라 크랙 발생시점이 지연되어 펀치와 다이간의 간극 사이로 버 발생에 의해 파단면의 직경이 감소된다고 판단되어지며 마모 펀치 조건에서 클리어런스가 증가되면서 파단면이 커지고 버는 감소하는 경향을 보인다.



(a) D_1(Rollover)



(b) D_2(Burnish)



(c) D_3(Fracture)

Fig. 7 Hole diameter according to piercing parameters

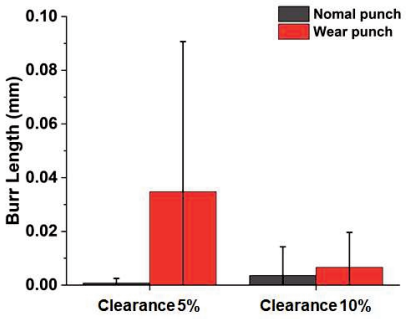


Fig. 10 Burr length according to piercing parameters

4. 결론 및 토의

본 연구에서는 피어싱 공정에서의 펀치 마모가 전단품에 미치는 영향에 대해 분석하고자 정상 펀치와 마모 펀치에 따른 피어싱 실험을 수행하였다. 이를 통해 펀치 형상과 클리어런스에 따른 하중 신호와 전단면을 측정하여 원인을 분석하였다.

1) 마모 펀치의 경우 정상 펀치 대비 20% 높은 하중을 보인다. 또한 피어싱 후 압축하중이 유지되며 취출 시 인장 하중이 부과됨을 확인 하였다.

2) 마모 펀치의 경우 엣지부 날이 마모에 의해 소재로 침투가 되지 않고 소재가 펀치 작동 방향으로 인장된 후 파단이 이뤄져 하중이 증가되고 피어싱 홀의 스트리핑력에 의해 파단이후에도 하중이 유지되고 펀치 취출 시 인장 하중이 발생된다고 판단된다.

3) 피어싱 공정에서의 각 변수별 신호 발생원인 분석을 위해 3차원 형상 측정 후 눌림면 분석 결과 클리어런스가 커질수록 눌림면이 커지고 마모 펀치 적용 시 또한 눌림면이 커지는 것을 확인하였다.

4) 클리어런스가 커질수록 전단 공정에서 소재에 부과되는 굽힘 모멘트가 커져 눌림면이 증가한다고 판단된다. 마모 펀치의 경우 피어싱 공정 초기 펀치 엣지부 마모에 의해 소재가 펀치 진행방향으로 인장이 됨에 따라 눌림면이 커진다고 판단된다.

5) 눌림면 분석 결과를 확인 하였을 때 마모 펀치의 하중 신호에서 확인 된 높은 하중과 피어싱 스트로크가 눌림면 발생 경향과 연관된다고 판단된다.

6) 전단면의 경우 정상 펀치 대비 마모 펀치가 작은 피어싱 홀 직경을 보이는데 이는 펀치 측벽부의 마모된 영역에서 전단이 발생되어 홀 직경이 작아진다고 판단된다.

7) 전단면의 작은 홀 직경에 의해 마모 펀치에 완전 파단 후 압축 하중 유지와 취출 시 인장 하중이 발생된다고 판단되어 지며, 하중 신호 발생 경향 분석을 통해 금형의 펀치 마모 예측이 가능할 것으로 판단된다.

후기

본 연구는 한국생산기술연구원 기관주요사업 “Add-on 모듈 탑재를 통한 지능형 뿌리 공정 기술 개발(KITECH EO-22-0005)”의 지원으로 수행한 연구입니다.

참고문헌

1) Jeon, Y.J. and Kim, D.E, “A study on the detection of misalignment between piercing punch and die using a bolt-type piezo sensor”, J. Korea Society of Die & Mold Engineering, Vol. 15, No. 4, pp. 51-56, 2021.
2) R. Hambli, “Blanking tool wear modeling using the finite element method”, Int. J. Mach. Tools Manuf., Vol. 41, pp. 1815-1829, 2001. https://doi.org/10.1016/S0890-6955(01)00024-4
3) D. C. Ko, D. H. Kim and B. M. Kim, “Finite element analysis for the wear of Ti－N coated punch in the piercing process”, Wear, Vol.252 No. 11-12, pp. 859-869, 2002. https://doi.org/10.1016/S0043-1648(02)00032-7
4) P. Chumrum, N. Koga and V. Premanond, “Experimental investigation of energy and punch wear in piercing of advanced high-strength steel sheet.”, Int. J. Adv. Manuf. Technol., Vol. 79, pp. 1035-1042, 2015.
5) R. Shivpuri, S. Singh, K. Agarwal, C. Liu, “Energy release rate based approach for the wear of punches in precision blanking of high strength steel”, CIRP Annals, Vol. 60, pp. 307-310, 2011. https://doi.org/10.1016/j.cirp.2011.03.139
6) D. D. Olsson, N. Bay and J. L. Andreasen, “Analysis of Pick-Up Development in Punching”,

CIRP Annals, Vol. 51, pp. 185-190, 2002.
https://doi.org/10.1016/S0007-8506(07)61496-6
7) J. Stahlmann, M. Brenneis, “Understanding and improvement of industrial production how technology paves the way for productivity”, New Development in Forging Technology, Vol. 2017, pp. 109-117, 2017.
8) S. Y. Kim, A. Ebina, A. Sano, S. Kubota, “Monitoring of process and tool status in forging process by using bolt type piezo-sensor”, Procedia Manufacturing, Vol. 15, pp. 542-549, 2018.

저자 소개

전 용 준(Yong-Jun Jeon) **[정회원]**

- 2012년 2월 : 대구대학교 기계공학과 (공학석사)
- 2012년 3월~현재 : 한국생산기술연구원 금형성형연구부문, 연구원

< 관심분야 >
판재성형 및 금형, 판재성형해석

김 동 언(Dong-Earn Kim) **[정회원]**

- 2006년 8월 : 서울대학교 기계공학과 (공학박사)
- 2006년 9월~2008년 8월 : 서울대학교 정밀기계설계공동연구소, 연구원
- 2008년 9월~2013년 11월 : 삼성전자 삼성종합기술원, 전문연구원
- 2013년 12월~현재: 한국생산기술연구원 금형성형연구부문, 수석연구원

< 관심분야 >
판재성형 및 금형, 복합소재(CFRP) 성형/가공