

후판 소재를 적용한 파인 블랭킹 금형 수명에 관한 연구

박동환^{1,*}, 현경환²

Experimental Study on the Mold Life of Fine Blanking Using Thick Plate Materials

D. H. Park, K. H. Hyun

(Received May 3, 2021 / Revised June 1, 2021 / Accepted June 1, 2021)

Abstract

Fine blanking is a high-precision process combining principles of metal stamping and cold forming. Unlike conventional metal stamping, fine blanking uses a special triple action such as V-ring force, counter force, shearing force. This study performed the effect of pocket-shaped compression molding on the mold life of the fine blanking using the 7.4mm thick SM45C material. In order to determine the lifespan of the punch and die in the fine blanking molds, a trial mold was manufactured and various punch materials were selected to perform the mold life test. A study on the life of a fine blanking mold by applying a thick plate material was experimentally performed through a mold test.

Keywords: Mold Life, Fine Blanking, Punch, Pocket Shape, Thick Plate

1. 서 론

파인 블랭킹 가공은 더욱 정밀하게 타발 가공하는 프레스 가공으로 금속에 압력을 가하면 소성 변형의 힘이 강해진다는 정수압 효과를 바탕으로 한다. 일반 블랭킹 가공은 다이 위에 가공물을 놓고 펀치로 가압하여 다이와 펀치 사이에 적절한 틈새가 필요하지만, 파인 블랭킹은 틈새를 최대한 없애고 상하 양쪽에서 가압하여 가공한다[1-10]. 즉, 파인 블랭킹 가공은 펀치 주위에 있는 V돌기 모양의 스트리퍼로 피가공 재료를 가압하고 펀치 아래에 있는 카운터 펀치로 역가압하여, 펀치와 다이의 틈새부 재료에 압축응력을 부가함으로써 균열에 의한 파단을 발생시키지 않고, 전단 분리하는 가공법이다. 전단 변형부의 재료를 압축응력 상태로 유지하고, 균열을 발생시키지 않으면서 전단 분리하는 가공 방법으로 매초 5~20mm 정도의 전단속도로 작동하는 우수한

정도의 프레스와 독특한 금형구조로 전단압, 스트리퍼압, 역압에 의해 평활한 전단면을 얻을 수 있다.

일반 블랭킹 가공은 판재를 전단하면서 파생되는 버어와 파단면이 발생하게 된다[11,12]. 일반적으로 버어의 발생을 적절하게 유지하기 위하여 클리어런스를 재료 두께의 10% 내외로 규제하고 있다. 이때 발생하는 버어를 적게 하기 위한 방법으로 웨이빙 가공, 챔버링 가공, 기계 가공에 의한 절삭 또는 바렐 연마 등이 있으나, 이는 추가 가공에 의한 비용 발생으로 제조 원가를 상승시키는 원인이 된다. 일반 고속 프레스에서 펀치 수명에 대한 연구 등이 있지만, 여전히 제조원가가 상승한다[13]. 즉, 일반 블랭킹 가공에서는 일부분만 깨끗하게 전단되고, 나머지는 거칠게 파단된 절단면을 갖는 부품이 생산된다.

반면, 파인 블랭킹 작업은 소재 주위에 여러 가지 형태의 돌기를 활용하여 압축응력을 가함으로써 재료 두께에 깨끗한 전단면 형상을 갖는 정밀한 부품을 한 번의 공정으로 생산할 수 있으며, 그로 인해 대폭적인 원가절감을 가져올 수 있다. 즉, 파인 블

1. 경북하이브리드부품연구원, 수석연구원

2. 인하대학교 금속재료공정공학과, 대학원생

Corresponding Author: Gyeongbuk Hybrid Technology Institute, E-mail: pdh@ghi.re.kr, ORCID: 0000-0003-4745-9604

랭킹 가공은 재료 두께 전체에 깨끗한 전단면 형상을 갖는 정밀한 부품을 한 번의 가공으로 생산할 수 있으므로 정밀한 제품을 얻게 됨과 동시에 생산 비용도 절감할 수 있다. 즉, 파인 블랭킹 가공은 제품의 절단면이 깨끗하다. 일반적인 블랭킹과 파인 블랭킹의 전단면 차이는 외관으로 확연히 다른 수준이다. 파인 블랭킹의 전단 표면 거칠기는 Ra 0.4~16 μ m로 일반 블랭킹 작업으로 얻어진 전단 표면 거칠기나 절삭 가공의 표면 거칠기보다 더 굵다.

파인 블랭킹 금형의 수명은 금형 소재, 피가공 재료 및 두께, 클리어런스, 블랭킹 속도, 프레스의 강성, V링에 가해지는 힘과 반력, 재료 이송 등에 따라 좌우된다. 그러므로 금형 소재 선정, 열처리, 금형 정밀도 등 금형 조립 상태를 적절히 조정해가며 작업해야 수명 증가가 가능하다. 또한, 파인 블랭킹은 단순한 전단작업이 아니므로 윤활유를 사용하지 않으면 냉간 용착이 발생하고 양호한 전단 면을 얻을 수 없을 뿐만 아니라 정밀도가 떨어지게 된다. 즉, 펀치와 다이의 심한 마모로 제품 품질이 떨어져 금형 수명이 줄어들 수 있다.

본 연구는 7.4mm 후판 SM45C 소재를 사용하여 포켓(pocket) 형상의 압축성형이 파인 블랭킹 금형 수명에 대한 미치는 영향을 연구하였다. 파인 블랭킹 금형에서 펀치의 수명을 파악하기 위하여 시작용 금형을 제작하여 여러 가지의 펀치 소재를 선정하여 금형 수명 시험을 실시하였다. 후판 소재를 적용하여 파인 블랭킹 금형 수명에 관한 연구를 금형시험을 통하여 실험적으로 수행하였다.

2. 소재 물성 시험

시험에 사용된 소재는 SM45C로 두께 7.4mm인 판재를 5×5mm 사각 시편으로 절단하여 금속성분분석기로 성분 분석을 실시하였다. Table 1은 SM45C 소재의 성분 분석 결과를 보여준다. SM45C 소재는 기계구조용 탄소강재로 탄소 0.45% 정도의 강을 압연한 채로 혹은 담금질, 뜨임하여 기계를 구조적으로 지탱할 수 있게 만든 탄소강이다. 기계적 성질을 파악하기 위해 인장시험을 실시하였는데, 인장시편은 KS 13B호 규격으로 와이어 커팅 가공하여 압연 방향에 대하여 0°, 45°, 90° 방향으로 인장시편을 수집하였다. 인장시험은 만능재료시험기에서 크로스헤드를 일정속도로 유지시킨 후 파단에 이르기까지 인

장하였다. 인장시험을 통하여 얻은 SM45C의 기계적 성질은 다음과 같다. Table 2는 SM45C 소재의 인장시험 결과를 나타낸다. 인장시험 결과에서 항복강도 388.6MPa, 인장강도 535.1MPa, 파단 연신율 33.1%의 평균 결과 값을 얻을 수 있었다. Fig. 1은 인장시험 결과로부터 얻은 SM45C 소재의 응력-변형률 선도를 보여준다.

Table 1 Chemical Properties of SM45C (thickness 7.4mm)

C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo
0.45	0.21	0.65	0.001	0.001	0.036	0.001

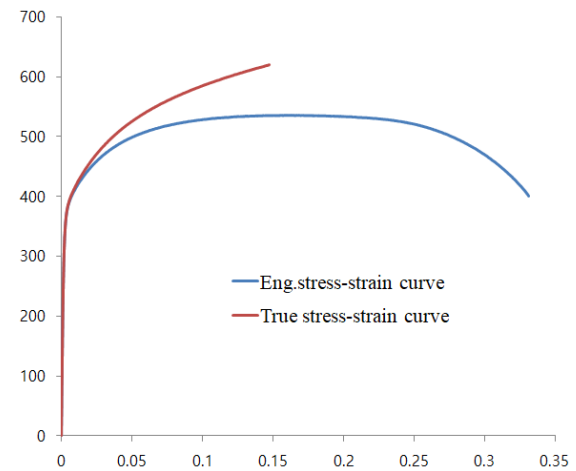


Fig. 1 Strain-stress curve of SM45C material

Table 2 Mechanical Properties of SM45C

Direction		Yield strength [MPa]	Tensile strength [MPa]	Elongation [%]
0°	1	363	522	33.3
	2	380	535	33.1
	3	394	532	33.2
45°	1	392	532	32.2
	2	392	534	33.6
	3	385	531	31.3
90°	1	401	548	35.5
	2	399	546	34.1
	3	392	536	31.9
Average		388.6	535.1	33.1

3. 파인 블랭킹 금형 실험

파인 블랭킹 금형은 일반 프레스 금형에 비해 복잡하고, 금형 부품의 기계가공이 정밀하게 제작되어야 한다. 파인 블랭킹 금형 부품은 높은 정밀도가 요구되어 정밀 가공이 가능한 와이어 가공기를 활용해야 한다. 정밀도가 높은 금형을 원활하게 작동하려면 기계 정밀도가 높아야 하며, 두꺼운 판재의 전단에 필요한 힘과 제품의 특성에 따라 파인 블랭킹 전용 프레스에서 작업해야 한다. 즉, 파인 블랭킹 금형은 일반 프레스 금형에 비해 복잡하고, 높은 정밀도가 요구된다. 포켓 형상의 파인 블랭킹 금형 수명을 파악하기 위하여 파인 블랭킹 시작금형을 제작하여 포켓부 펀치의 금형 수명 시험을 실시하였다. Fig. 1은 포켓부 펀치의 금형 수명 시험을 위해 제작한 파인 블랭킹 시작금형을 보여주고, Fig. 2는 파인 블랭킹 시작금형의 상하 금형을 보여준다. 700톤 파인 블랭킹 프레스에서 시험작업하기 위하여 프로그레시브(progressive) 금형 방식으로 시작금형을 설계하였다.

Fig. 3은 VCT outer plate 제품의 전후면을 보여준다. 자동차 엔진용 VCT outer plate 제품은 엔진의 회전에 따라 가변 흡기 시스템과 밸브 조절을 하는 내마모성이 요구되는 부품이다. VCT outer plate 제품의 후면에 보이는 포켓부는 Fig. 8과 같이 고정밀도가 요구되는 성형 부품으로 응력집중에 의한 펀치 수명이 문제가 되어 왔다. 이에 대해 금형 수명을 검증하기 위하여 시작금형을 제작하였다.

파인 블랭킹 시작금형의 최적 레이아웃 설계를 위해 Fig. 4와 같이 재료를 절감할 수 있도록 폭은 57mm로 피치는 30mm로 설계하였다. 프레스 압력에 대한 균형을 고려하여 편심 하중이 발생되지 않도록 포켓부 성형을 센터에 배치하도록 설계하였다. 파인 블랭킹 금형의 소재 선정은 금형 수명에 중요하므로 포켓 펀치는 여러가지 소재로 선정하였고, 다이 인서트(die insert) 부품은 SKH51로 선택하였으며 그 외 부품은 합금공구강인 STD11을 선정하였다. Fig. 5는 파인 블랭킹 프레스에서 시험 중인 파인 블랭킹 시작금형을 보여준다. 금형 시험은 700톤 파인 블랭킹 프레스에서 연속작업이 가능하도록 코일재를 사용하여 프로그레시브 금형 방식으로 실험하였다. Fig. 6은 포켓부 펀치의 금형 수명 시험을 위해 제작한 포켓 펀치를 보여준다. 포켓 펀치는 소재두

께 7.4mm에서 5.0mm 깊이로 성형하므로 공기 구멍(air hole)을 2개소 설치하였다. 또한, 성형 압력이 높아 포켓 펀치의 수명이 문제되고 있어 이를 개선하기 위하여 펀치 재료에 따른 금형 수명 시험을 수행하였다. Fig. 7은 포켓부 제품 도면을 보여주고, Fig. 8은 포켓부 제품 사진을 보여준다. 포켓부 길이공차는 $\pm 0.045\text{mm}$ 로 파인 블랭킹 성형에서 이러한 치수 정밀도를 만족해야 한다.

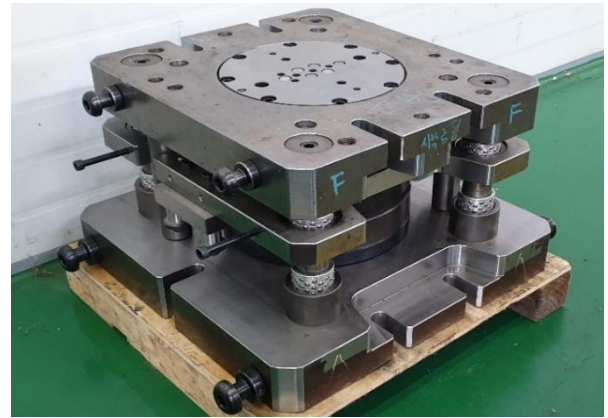


Fig. 1 Fine blanking trial mold assembly



(a) Upper die

(b) Lower die

Fig. 2 Upper die and lower die of fine blanking trial mold

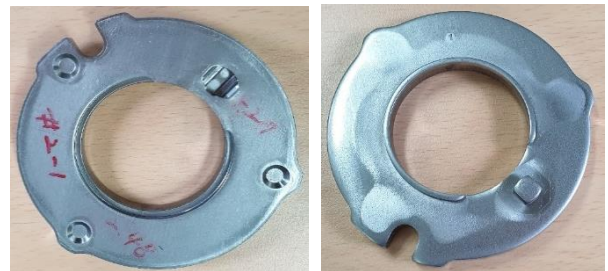


Fig. 3 VCT outer Plate product(front view, rear view)

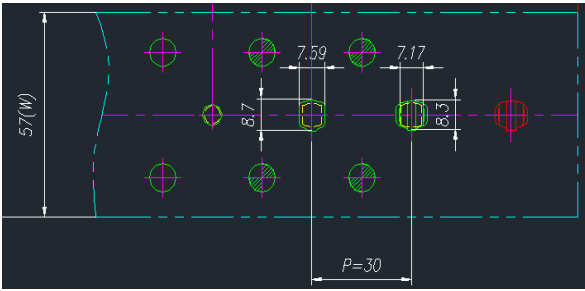


Fig. 4 Die layout of fine blanking trial mold



Fig. 8 Product details of pocket position



Fig. 5 Try out of fine blanking trial mold



Fig. 6 Pocket punch of fine blanking trial mold

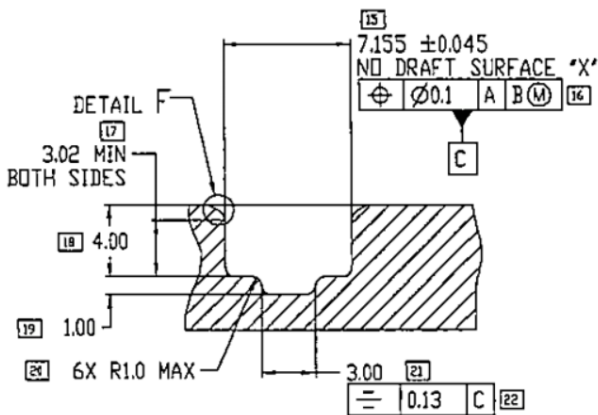


Fig. 7 Drawing details of pocket position

4. 파인 블랭킹 성형해석

파인 블랭킹 성형해석을 위한 블랭크 소재 물성은 인장시험에 의해 얻은 데이터를 사용하였다. Table 2는 성형해석 조건을 보여준다. 금형과 소재 사이의 마찰계수는 수용성 윤활유가 도포된 경우의 마찰계수를 기준으로 0.05와 0.1, 0.15 등의 3가지 조건을 적용하였다. Fig. 9는 마찰계수 0.05에서 유효 소성 변형률 분포를 보여준다. 파인 블랭킹 금형은 제품 재료에 알맞은 파인 블랭킹 오일이 윤활유로 사용되어야 한다. 이를 통해 제품의 전단면에는 원활한 재료의 소성 유동이 생겨 매끄러운 가공 표면을 얻을 수 있다. Fig. 10은 마찰계수 0.1에서 유효 소성 변형률 분포를 보여주고, Fig. 11은 마찰계수 0.15에서 유효 소성 변형률 분포를 보여준다.

포켓부 파인 블랭킹 성형해석 결과에서 마찰계수 증가에 따른 변형율(Plastic Strain)은 0.52에서 0.67로 증가하는 경향이 Fig. 12와 같이 나타난다. 마찰계수 증가에 따라 변형률이 증가하므로 마찰계수 저감을 위해 수용성 윤활유가 균일하게 소재에 도포될 수 있도록 할 필요가 있다. 그러므로 성형해석 결과를 보면, 포켓 펀치 끝단에서 유효 소성 변형률이 높게 나타나 포켓 펀치 파손이 주로 끝단에서 일어남을 알 수 있었다. Fig. 15에서 보는 바와 같이 손상된 포켓 펀치는 펀치 끝단 양쪽이나 한쪽 등에서 파손이 잦음을 알 수 있었다.

또한, 본 시험에 사용된 피가공재료는 SM45C(재료 두께 7.4mm)로 인장강도가 535.1MPa로 비교적 강도가 높으며, 포켓부 성형은 성형깊이가 5.0mm로 포켓부 끝단에서 성형압력이 높음을 알 수 있었다. 이는 금형 수명에 미치는 영향이 클 것으로 판단된다.

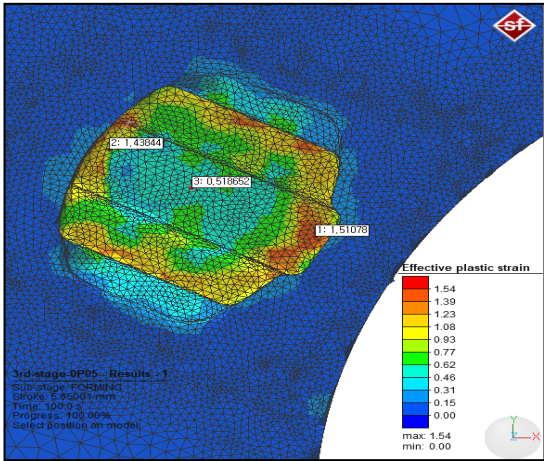


Fig. 9 Effective plastic strain distribution of fine blanking at friction coefficient 0.05

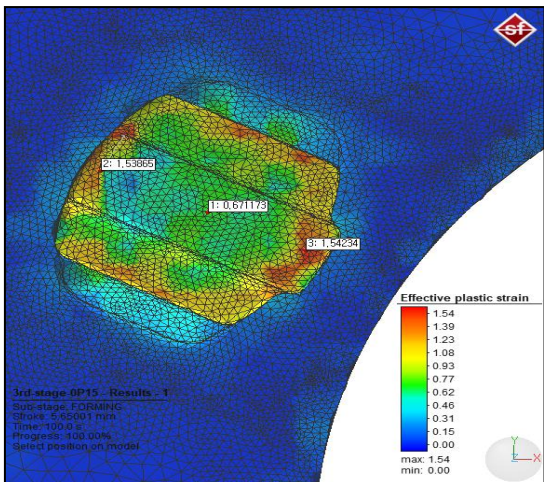


Fig. 10 Effective plastic strain distribution of fine blanking at friction coefficient 0.1

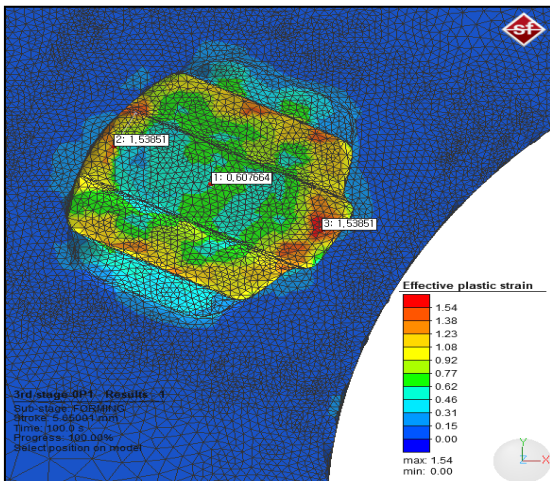


Fig. 11 Effective plastic strain distribution of fine blanking at friction coefficient 0.15

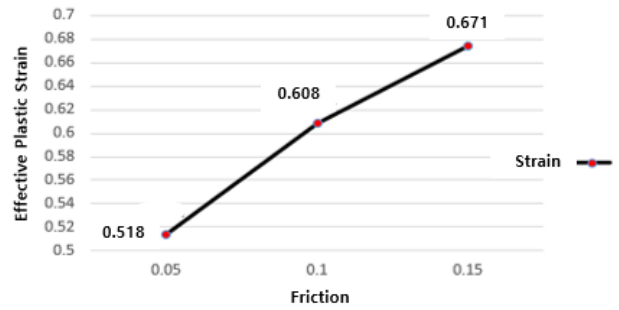


Fig. 12 Maximum effective plastic strain of fine blanking according to friction coefficient

Table 2 Simulation conditions

Plastic Material	SM45C
Rigid Die	STD11
Friction Coefficient	0.05, 0.1, 0.15
Material Thickness	7.4mm
Stamping Velocity	20SPM
Press Capacity	Blanking Force 700ton V-ring Force 200ton Counter Force 80ton

5. 실험 결과 및 고찰

파인 블랭킹 금형용 피가공 소재는 대부분 강재이지만 파인 블랭킹에 적합한 재료에 한하여 양호한 전단면 표면 품질을 얻을 수 있다. 재료 특성 중 가장 중요한 것은 충분한 재료의 연성이다. 즉 가단성이 양호해야 유연한 전단 작용이 발생할 수 있다. 본 실험에 사용한 피가공 소재는 SM45C로 기계구조용 탄소강재로 절삭성과 가공성이 우수한 소재이다. 파인 블랭킹 프레스와 금형은 투자비용이 높기 때문에 금형 수명을 향상시키는 것이 최선의 방법이라 할 수 있다. 금형 파손으로 자주 펀치나 다이를 교체한다면 생산성과 품질 문제를 야기하며 결국에는 원가상승 요인이 되기도 한다. 이를 위해 본 연구에서는 7.4mm 후판 SM45C 소재를 사용하여 포켓 형상의 압축성형에서 포켓 펀치 소재에 따라 파인 블랭킹 금형 수명에 대한 미치는 영향을 실험하였다.

Table 3은 포켓 펀치 소재에 따른 파인 블랭킹 금형 수명에 대한 실험 결과를 보여준다. 포켓 펀치

의 경도는 HRC 60~62로 열처리 하였으며, 포켓 펀치 표면은 AlCrN 코팅을 동일하게 실시하였다. QCM8(S사) 소재의 경우 #1 포켓 펀치에 대한 실험 결과 3,100타, #2 포켓 펀치에 대한 실험결과 4,700타에서 펀치 파손에 의한 포켓부 제품 불량 발생하였다. YXR3(H사) 소재의 경우 #1 1,800타, #2 1,150타에서 펀치 파손에 의한 포켓부 제품 불량 발생하였다. CPM M4(M사) 소재의 경우 #1 4,250타, #2 4,200타에서 펀치 파손에 의한 포켓부 제품 불량 발생하고, ZPM20V(M사) 소재의 경우 #1 5,100타, #2 5,200타에서 포켓 펀치 파손에 의한 포켓부 제품 불량이 발생하였다.

포켓 형상의 압축성형은 일종의 코이닝(coining) 성형으로 볼 수 있으며, 이러한 코이닝 성형은 재료를 냉간 상태에서 높은 압력으로 눌러 두께를 감소시켜 단차를 얻는 가공이다. 코이닝 성형에 의한 가공경화로 재료 강도는 30-40% 정도 상승되므로 금형 설계할 때 제품의 표면 상태를 양호하게 할 수 있는 내마모성이 큰 금형 강재가 필요함을 알 수 있고, 실험 결과에서 포켓 펀치 소재에 따라 펀치 수명이 달라짐을 알 수 있었다. 또한, 포켓부 성형은 성형깊이가 5.0mm로 포켓부 끝단에서 성형압력이 높아 금형 수명이 낮아짐을 알 수 있었다.

Fig. 13은 파인 블랭킹 금형의 스트립 레이아웃을 보여준다. 파인 블랭킹은 단순한 전단 공정이 아니고 일종의 드로잉(drawing) 작업이 포함되므로 윤활유를 사용하였다. 윤활유를 사용하지 않으면 냉간 용착이 발생하여 양호한 전단면을 얻을 수 없고, 치수 정밀도를 유지하기 곤란하며 펀치와 다이에 큰 부하가 가해져 높은 압력과 온도 상승으로 인하여 마모가 심하게 발생하여 금형 수명을 저하시킬 수 있다. 향후 금형 소재와 코팅에 따라 적합한 윤활유 선정에 대한 추가 연구가 필요할 것으로 판단된다. Fig. 14는 파인 블랭킹 시작금형 실험에서 포켓 펀치 파손에 의한 제품 불량을 보여주고, Fig. 15는 포켓 펀치 파손 부위를 보여준다. 손상된 포켓 펀치는 펀치 끝단 양쪽이나 한쪽 등에서 파손이 잦음을 알 수 있다. 따라서 금형 소재에 따라 포켓 펀치 파손에 의한 제품 불량률이 나타나며, 포켓 펀치 수명이 큰 차이가 발생함을 파인 블랭킹 시작금형 실험을 통하여 알 수 있었다.

Table 3 Life test results of pocket punch for fine blanking mold

Punch Material	Number of Strokes	
		#1
QCM8(S)	#1	3,100
	#2	4,700
YXR3(H)	#1	1,800
	#2	1,150
CPM M4(M)	#1	4,250
	#2	4,200
ZPM20V(M)	#1	5,100
	#2	5,200



Fig. 13 Strip layout of pocket punch in the fine blanking trial mold

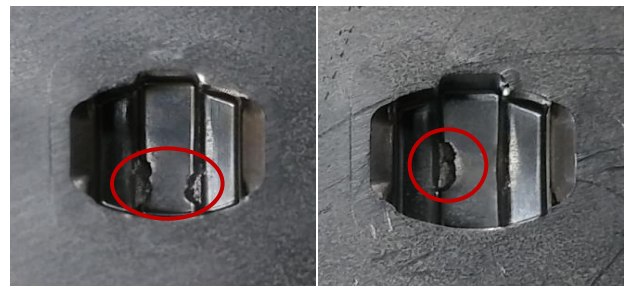


Fig. 14 Damaged area of pocket in the fine blanking trial mold



Fig. 15 Damaged pocket punch in the fine blanking trial mold

6. 결론

본 연구는 7.4mm 후판 SM45C 소재를 적용하여 포켓 형상의 압축성형에서 금형 소재에 따른 파인 블랭킹 금형 수명에 대한 미치는 영향에 대해 연구하는 것으로 이러한 기술을 확보하기 위하여 시작금형 설계 제작과 성형해석 기술 등을 통하여 파인 블랭킹 시작금형을 성공적으로 제작하였다. 후판 소재를 적용하여 파인 블랭킹 시작금형에서 열처리와 표면 코팅이 동일한 조건에서 금형 소재에 따라 포켓 펀치 수명이 큰 차이가 발생함을 금형시험을 통하여 실험적으로 수행하였다.

(1) 포켓부 파인 블랭킹 성형해석 결과에서 마찰 계수 증가에 따라 변형율은 0.51에서 0.67로 증가하는 경향이 나타나며, 포켓 펀치 끝단에서 유효 소성 변형률이 높게 나타나 포켓 펀치 파손이 주로 끝단에서 일어남을 알 수 있었다.

(2) 파인 블랭킹 시작금형 실험에서 금형 소재에 따라 포켓 펀치 수명이 1,150타에서 5,200타까지 큰 차이가 발생함을 알 수 있었다.

(3) 포켓 펀치의 열처리 및 표면 코팅이 동일한 조건에서 금형 소재에 따라 포켓 펀치 파손에 의한 제품 불량률이 나타나며, 포켓 펀치 수명이 큰 차이가 발생함을 파인 블랭킹 시작금형 실험을 통하여 알 수 있었다.

REFERENCES

- [1] Deng, M., Ma, Y. L., Lv, L., 2014, Development of closed extruding fine blanking technology, *Procedia Engineering*, 81 1157-1162, <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2014.10.281>.
- [2] Zheng, Q., Zhuang, X., Zhao, Z., 2018, State-of-the-art and future challenge in fine blanking technology, *Production Engineering*, <https://doi.org/10.1007/s11740-018-0839-7>.
- [3] Park, D. H., Kwon, H. H., 2016, Study on the Manufacturing Technology of 2-Cavity Fine Blanking Seat Recliner Die with Minute Module of Accurate Gear, *Journal of the Korean Society of Manufacturing Process Engineers*, 15:2 22-30, <http://dx.doi.org/10.14775/ksmpe.2016.15.2.022>.
- [4] Park, D. H., Kwon, S. M., Kim, H. J., 2020, Arm Extraction Method of VCT Plate Parts for Automobile Engines using Fine Blanking Technology, *Journal of the Korean Society of Manufacturing Technology Engineers*, 29:4 317-322, <https://doi.org/10.7735/ksmte.2020.29.4.317>.
- [5] Kim, J. D., Kang, J. J., Kim, H. K., Hong, S. K., Kim, B. J., 2005, A Progressive Fine Blanking Process Design for Forming of Carrier Plate, *Transactions of Materials Processing*, 14:3 207-214, <https://doi.org/10.5228/KSPP.2005.14.3.207>.
- [6] Kim, J. D., Kim, H. K., 2011, A Study on the Change of Die Roll Size by the Shape of Die Chamfer in Fine Blanking Die for Automobile Door Latch, *Journal of the Korea Academia-industrial Cooperation Society*, 12:2 565-570, <https://doi.org/10.5762/KAIS.2011.12.2.565>.
- [7] Kim, J. D., 2012, An Experimental Study on the Effect of V-ring Position and Die Chamfer Shape on the Die Roll Height in Fine Blanking Tool, *Journal of the Korea Academia-industrial Cooperation Society*, 13:5 2009-2014, <http://dx.doi.org/10.5762/KAIS.2012.13.5.2009>.
- [8] Lee, C. K., Y. Kim, C. A., 2013, A Study on the Share Surface Size Deformation of Fine Blanking Process, *Journal of the Korea Academia-industrial Cooperation Society*, 14:8 3650-3655, <https://doi.org/10.5762/KAIS.2013.14.8.3650>.
- [9] Kim, G. T., 2013, A Study on Edge Bridge Minimization of Fine Blanking Process, *Journal of the Korean Society of Manufacturing Technology*, 12:4 108-113.
- [10] Kim, J. D., 2012, An experimental study on the effect of V-ring position and die chamfer shape on the die roll height in fine blanking tool, *Journal of the Korea Academia-industrial Cooperation Society*, 13:5 2009-2014, <https://doi.org/10.5762/KAIS.2012.13.5.2009>.
- [11] Park, D. H., Kwon, H. H., 2015, Development of the Compound Die Forming Technology United between Semi-Progressive and Transfer Die, *Journal of the Korean Society of Manufacturing Process Engineers*, 14:4 126-133, <http://dx.doi.org/10.14775/ksmpe.2015.14.4.126>.

- [12] Bahn, G. S., Suh, E. K., Lee, G. H., Mo, C. K., 2004, A Study on the Characteristics for the Blanking of Lead Frame with the Nickel Alloy Alloy42, Journal of the Korean Society of Machine Tool Engineers, 13:6 87-93.
- [13] Kim, J. H., Shin, H. P., 2019, Improvement of Punch Life and Contact Stamping Quality in Ultra-High Speed Press, J. Korean Soc. Precis. Eng., 36:10 961-967, <https://doi.org/10.7736/KSPE.2019.36.10.961>