

캐리어 플레이트 성형을 위한 프로그레시브 파인 블랭킹 공정의 설계

김종덕¹ · 강정진¹ · 김홍규[#] · 홍석관¹ · 김병준²

A Progressive Fine Blanking Process Design for Forming of Carrier Plate

J. D. Kim, J. J. Kang, H. K. Kim, S. K. Hong, B. J. Kim

(Received November, 30, 2004)

Abstract

Blanking process is widely used for producing various structural parts. However, fine blanking technology is frequently used as a single step blanking operation with clean cut surface of a sheared surface because the fractured surface of parts causes serious problems in the final product and therefore it must be removed by the post-processing in case of the conventional blanking. In the present investigation, a fine blanking process was designed within the framework of progressive die to produce a carrier plate assembled within the auto transmission. Finite element analysis of the shearing behavior at the respective stage of the progressive fine blanking was conducted to validate the designed die parameters. Finally the designed progressive fine blanking process was experimentally evaluated by using the machined die.

Key Words : Fine Blanking, Burr, Progressive, Carrier Plate, Finite Element Analysis, Shearing

1. 서 론

파인 블랭킹(fine blanking) 기술은 일반적인 블랭킹 공정에 비해 고운 전단면과 뛰어난 제품 정밀도를 얻을 수 있는 장점이 있어 고품질의 자동차 부품, 전기 전자 부품 등의 성형에 많이 적용되고 있다. 특히 일반적인 블랭킹 작업 후에 파단면 제거 등과 같은 후속 공정이 필요해져서 추가 비용이 발생하는 후관 가공의 경우는 파인 블랭킹 공정 적용을 통해 비용 감소의 효과를 얻을 수 있다[1~2].

한편 하나의 부품 가공에 있어서도 성형상의 문제나 소재의 유동 특성으로 인해 한 단계의 공정 대신 여러 단계의 공정을 사용하는 것이 필요

한 경우가 많은데, 이때 다단계의 성형 공정을 직렬식으로 연결한 프로그레시브 방식 금형이 널리 사용되고 있다.

파인 블랭킹이 적용되어야 하는 공정에서도 이와 같은 이유로 프로그레시브 공정을 활용하는 것이 유리하거나 반드시 필요한 경우가 많다. 그런데 이러한 프로그레시브 파인 블랭킹 금형 성형 공정을 구현하기 위해서는 요소 기술인 파인 블랭킹 공정의 특성을 고려하면서 전체 프로그레시브 공정을 설정하여야 한다. 정밀한 설계를 요구하는 파인 블랭킹 공정의 특성으로 인해 프로그레시브 방식의 파인 블랭킹 공정의 설계는 기존 설계 노하우와 더불어 전체 공정에 대한 정밀 분석이 이루어져야 하는 어려운 작업이다.

1. 한국생산기술연구원 정밀금형팀
2. 대성 파인텍
교신저자: 한국생산기술연구원 정밀금형팀

본 연구에서는 자동차 자동변속기 내에 사용되는 부품인 캐리어 플레이트(carrier plate)를 대상으로 이러한 프로그레시브 방식의 파인 블랭킹 공정 및 금형을 개발하고자 한다. 이를 위해 파인 블랭킹 공정의 특성을 고려하여 프로그레시브 공정을 위한 전체 스트립 레이아웃(strip layout)을 설정하고 개별 단계에서의 금형 설계 변수들을 결정하였다. 또한 설계된 금형에 의한 성형 공정은 DEFORM-2D를 사용한 유한요소해석(finite element analysis)을 통해 검증되었다. 마지막으로 실제 프로그레시브 파인 블랭킹 금형을 가공하고 시험 성형을 수행함으로써 개발된 금형 설계의 타당성을 확인하였다.

2. 프로그레시브 파인 블랭킹 공정의 설계

2.1 부품 성형 공정 분석 및 개발 목표

본 연구에서 프로그레시브 파인 블랭킹 금형으로 개발하고자 하는 부품은 자동차 자동 변속기에 사용되는 캐리어 플레이트로서 Fig. 1과 같은 형상을 갖고 있다. 캐리어 플레이트에 요구되는 정밀도 조건으로 홀(hole) 위치 정밀도는 ± 0.15 , 홀 주위 평면도는 ± 0.03 이내, 전단면은 95% 이상, 전단면의 표면 조도는 $Ra=1.6$ 이다.

캐리어 플레이트 성형을 위한 기존의 방식은 내측 및 외측 형상을 블랭킹한 후 카운터 싱크 코이닝 홀(counter sink coining hole)에 대해 양방향 테이퍼 드릴링(taper drilling), 플래터링(flattening) 등의 2차 공정을 수행하여 요구되는 형상 공차를 만족시켰는데, 2차 가공 비용의 절감, 생산성 향상을 위해 1회의 프로그레시브 파인 블랭킹 공정의 개발이 절실하다.

2.2 파인 블랭킹 공정의 주요 특성

파인 블랭킹은 1 회의 공정으로 2 차 가공 없이 깨끗한 전단면과 양호한 정밀도를 얻는 프레스 가공 공정으로서 이러한 파인 블랭킹 공정을 구현하기 위해서는 고정밀도의 금형 및 프레스, 적합한 재료, 윤활 등의 요소가 모두 뒷받침되어야 하는데, 일반 블랭킹 가공과 파인 블랭킹 가공의 일반적인 특성 차이를 Table 1에 나타내었다[3].

파인 블랭킹 금형을 초기 설계하기 위해서는 기존의 설계 노하우를 활용할 필요가 있다. 예를 들어, 피어싱(piercing) 가공할 때 가공 직경에 대한 두께의 비가 높으면 재료 전단력이 편치의

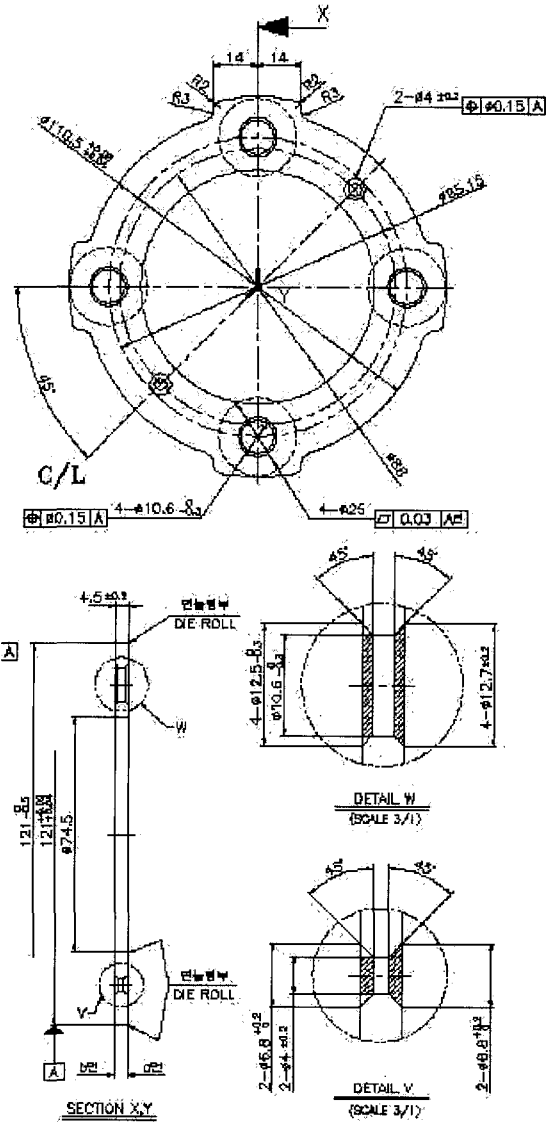


Fig. 1 A carrier plate configuration assembled into the auto transmission

Table 1 Comparison of the conventional blanking and the fine blanking

	Conventional blanking	Fine blanking
Drive type	Single-point	3-point
Clearance	5~10% of thickness	0.5% of thickness
Flatness	Deflection due to micro bending	Good
Blanked surface	Shearing over 1/3 of thickness, and Fracture over 2/3 of thickness	Shearing over 100% of thickness

재료 압축력을 초과하여 펀치가 파손될 수 있어 일반적으로 재료 두께의 60% 이하의 직경을 피어싱할 때는 특별한 주의를 필요로 한다. 이와 같이 개별 성형 모드에 따라 경험에 의한 설계 데이터가 존재하는데[4], Fig. 2에 그 몇 가지 예를 나타내었다.

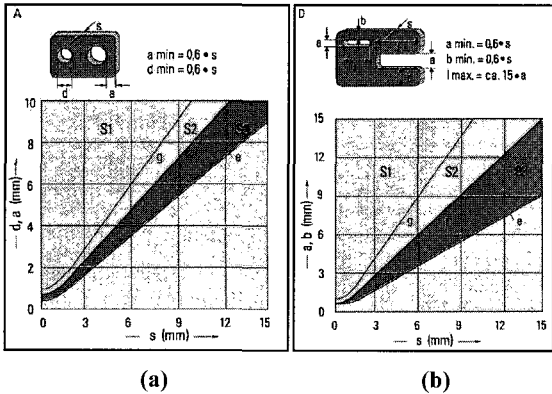


Fig. 2 Fine blanking design guide for (a) hole & web and (b) slot & web

2.3 재료 선정

일반 프레스의 블랭킹과는 달리 파인 블랭킹에서는 재료의 적합성에 따라 양호한 제품 생산 여부가 달려 있다. 따라서 파인 블랭킹 재료를 검토할 때 고려해야 할 성질은 인장 강도, 탄성한계, 연신율, 경도, 시멘타이트 조직의 확산 등인데, 연성 또는 가단성이 양호하고, 인장 강도와 경도가 낮고, 탄성 한계가 낮고, 연신률과 단면 수축률이 큰 재료이어야 한다. 이와 같은 기준으로 본 연구에서 캐리어 플레이트 성형을 위해 사용된 재료는 SAPH440(JIS 규격)으로서 Table 2와 같은 기계적 특성을 갖고 있다.

Table 2 Mechanical characteristics of SAPH440

Sample (No.)	Yield strength (Kg/mm ²)	Tensile strength (Kg/mm ²)	Elongation (%)
1	30.7	44.6	30.1
2	30.6	44.3	30.4
Average	30.65	44.45	30.25

2.4 공정 설계 및 유한요소해석

캐리어 플레이트는 형상이 복잡하며 코이닝(coining) 성형이 동시에 이루어져야 하기 때문에

복합 성형 파인 블랭킹 공정으로 구성된 4 단계 프로그레시브 금형으로 설정하였으며 최대한 재료를 절감하기 위하여 스트립 폭 130mm, 피치 117mm로 설정하였다. 1 단계에서 2개 $\Phi 4$ 홀과 4개 $\Phi 10.6$ 홀 부위의 코이닝 가공을 위한 공간을 확보하기 위하여 우선 홀을 피어싱 가공하고, 2 단계에서 2개 $\Phi 4$ 홀과 4개 $\Phi 10.6$ 홀 부위의 코이닝 성형을 한 후 3 단계에서 코이닝한 홀 부위를 재 성형하여 완성한 후 4 단계에서 전체 외형의 블랭킹과 내측 형상을 홀($\Phi 88$)을 피어싱 한다. Fig. 3에 캐리어 플레이트의 스트립 레이아웃도를 나타내었다.

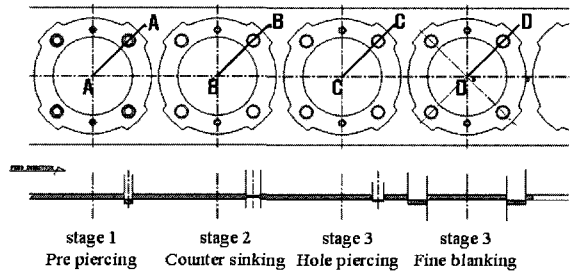


Fig. 3 Strip layout of carrier plate

2.4.1 가공력 계산 및 프레스 선정

각 공정별 계산식[3]을 이용하여 Table 3와 같이 각각의 힘을 산출하였다. 따라서 총합력(total force)은 전단력, 비링력(vee-ring force), 카운터력(counter force)의 합으로 구할 수 있으며, 캐리어 플레이트를 파인 블랭킹 성형하기 위하여 용량이 297.9ton 이상의 파인 블랭킹 프레스를 사용하여야 한다.

Table 3 Calculated pressing force at each process

Processes	Calculated force
Shear force	186.8 Ton
Vee-ring force	79.6 ton
Counter force	31.5 ton
Forging force	200.0 ton
Total force	325.4ton

2.4.2 클리어런스(Clearance) 결정

Fig. 4에 제시된 가이드라인(guide line)에 따라 캐리어 플레이트의 내측 형상($\Phi 88$)의 클리어런스는 0.015 mm로, 외측 형상의 클리어런스는 0.02로, 카운터 싱킹 코이닝 성형 후 $\Phi 10.6$, $\Phi 4.0$ 피어싱 홀

클리어런스는 0.01mm로 설정하였다. 또한, 금형의 수명을 고려하여 다이 치수는 제품의 최소 치수보다 공차의 25% 더 크게 설정하였고, 편치는 작게 설정하였다. 이와 같이 제시된 클리어런스의 타당성을 평가하기 위하여 전단 시뮬레이션을 통해 절단면의 처짐, 과단면, 버, 다이 롤(die roll) 등의 형상을 예측하였다.

해석결과를 보면 전단면은 매우 매끄러워 목표로 하였던 전단면 비율의 95% 이상으로 요구 조건을 충족시킬 수 있었으나 다이 롤 크기가 크게 나타났음을 알 수 있는데 이를 Fig. 5에 나타내었다.

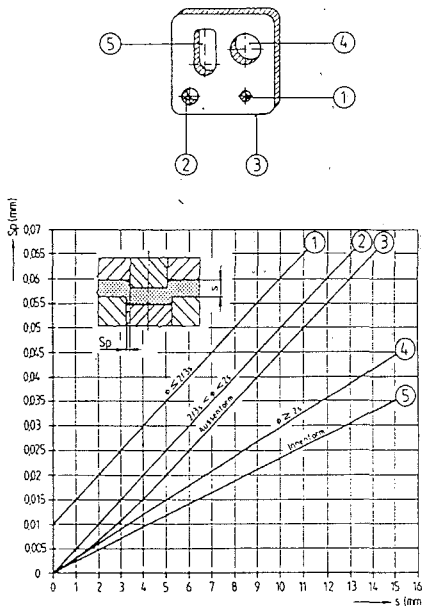


Fig. 4 Design guide line for clearance determination

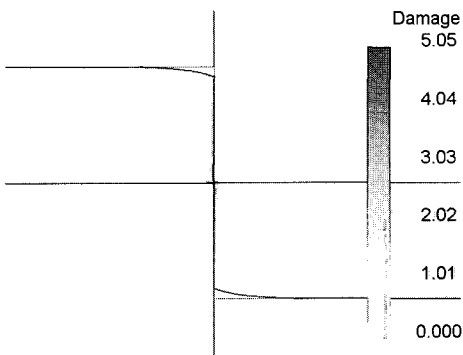


Fig. 5 FE simulation of the carrier plate shearing for clearance evaluation

2.4.3 비링(Vee-ring) 설계

캐리어 플레이트는 재료 두께가 4.5mm로 비교적 두껍지 않기 때문에 Fig. 6과 Table 4의 설계 가이드에 따라 프레스 플레이트에 비링을 설계하였다[3].

일반적으로 비링은 외측 형상에서 2.5-3.0mm 오프셋(off-set)하여 비링을 설계하나, 캐리어 플레이트의 경우 외측 형상 중 안쪽으로 들어간 부위는 전단할 때 재료가 이동할 수 있는 공간이 없기 때문에 외측 형상에서 2.5-3.0mm 모두 오프셋하여 비링을 설정하지 않고 오목한 부위를 막는 정도로 비링을 설정하였다.

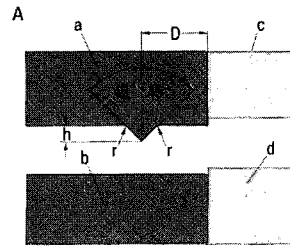


Fig. 6 Design parameters of Vee-ring

Table 4 Guide values for Vee-ring design parameters

Thickness	D	h	r
1.0-1.7	1.0	0.3	0.2
1.8-2.2	1.4	0.4	0.2
2.3-2.7	1.7	0.5	0.2
2.8-3.2	2.1	0.6	0.2
3.3-3.7	2.5	0.7	0.2
3.8-4.5	2.8	0.8	0.2

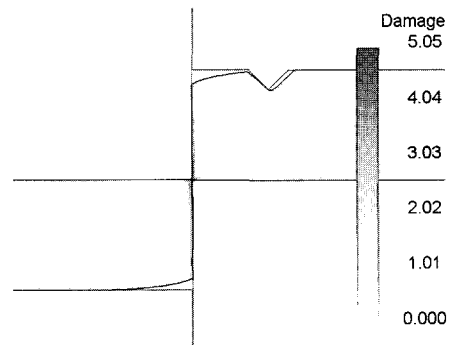


Fig. 7 FE simulation of the carrier plate fine blanking with Vee-ring

2.4.4 단계별 공정의 유한요소 해석

1 단계 공정은 2 단계 공정의 카운터 싱크 코이닝을 위한 전단 공정인데, Fig. 3에 명시된 A-A 단면에 대한 피어싱 홀의 최종 성형 형상과 전단 공정 중 작용하는 하중을 Fig. 8, 9에 나타내었다.

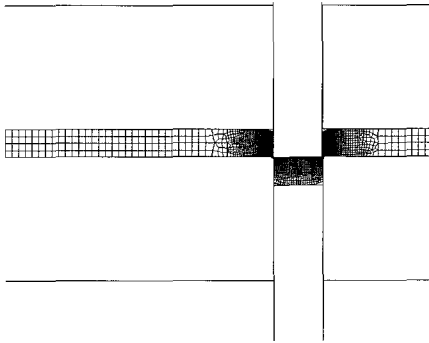


Fig. 8 FE simulation result of the piercing hole blanking

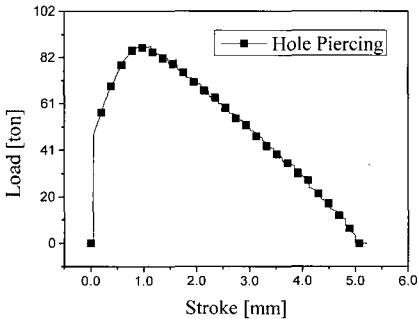


Fig. 9 Load-Stroke curve during the piercing hole blanking

2단계 공정은 카운터 싱크 코이닝 공정으로 Fig.3에 명시된 B-B 단면에 대하여 해석을 수행하였다. 코이닝 공정의 공정 후의 형상을 Fig. 10에 나타내었다. 성형 후의 형상을 확대한 Fig. 11에서 보면 코이닝 성형으로 인한 벌징(bulging) 현상을 볼 수 있는데 이는 다음 공정인 카운터 싱킹으로부터 제거되는 부분임으로 문제가 없을 것으로 판단된다.

3 단계는 카운터 싱크 홀 파인 블랭킹 공정으로

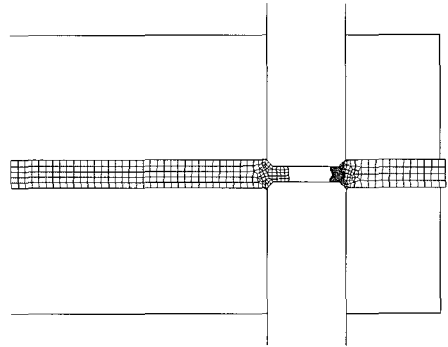


Fig.10 FE simulation result of the counter sink coining

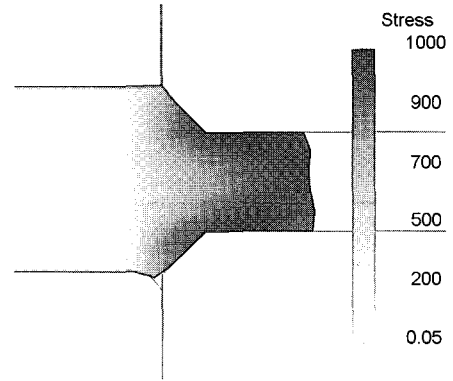


Fig.11 FE simulation result showing the Bulging caused by the counter sink coining

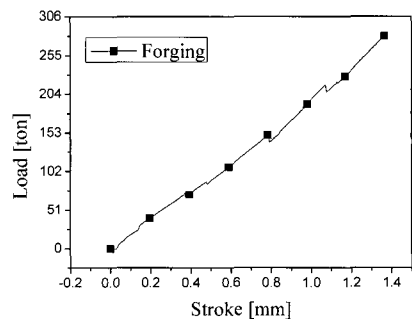


Fig.12 Load-Stroke curve during counter sink coining

Fig. 3에 명시된 C-C 단면에 대하여 해석을 수행하였다. 홀을 성형할 때 카운터 싱크 부위가 변형될 가능성 때문에 재료의 일부에 경계 조건을 부여하여 해석하였고, 최종 형상을 Fig. 13에, 파단부 형상을 확대하여 Fig. 14에 나타내었다.

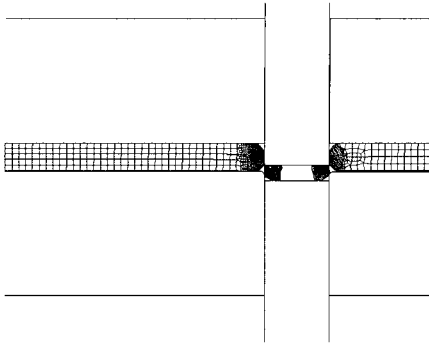


Fig.13 FE simulation result of the counter sink hole fine blanking

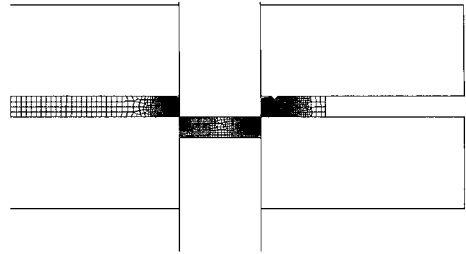


Fig.16 FE simulation result of the overall shape fine blanking

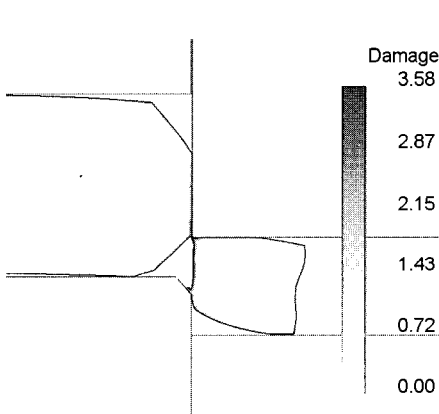


Fig.14 Sheared surface shape with the damage distribution after the counter sink hole fine blanking

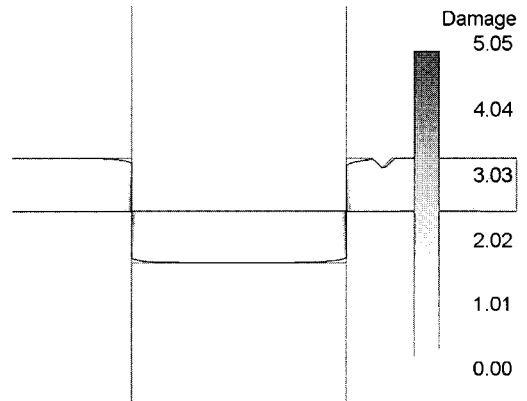


Fig.17 Sheared surface shape with the damage distribution after the overall shape fine blanking

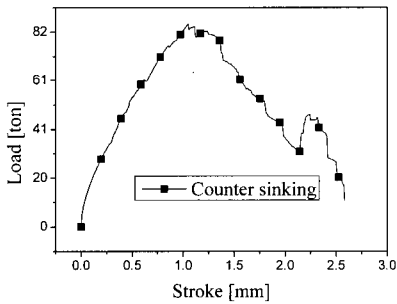


Fig.15 Load-Stroke curve during counter sink hole fine blanking

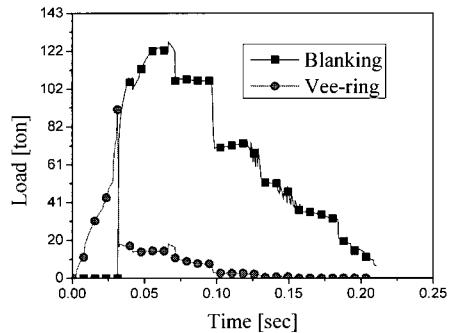


Fig.18 Load-Stroke curve during the 4th stage fine blanking

4단계는 카운터 싱크 코이닝 및 홀 성형을 완료한 후 전체 형상을 파인 블랭킹하는 공정으로서 Fig. 3에 명시된D-D 단면에 대하여 해석을 수행하였다. 하형은 내측 피어싱 펀치, 이젝터, 다이 플레이트로 구성되어 있으며, 상형은 내측 이젝터, 펀치, 비링을 포함한 가이드 플레이트로 구성되어 있다. 파인 블랭킹 성형 후의 형상을 Fig. 16에 나타내었으며 전단 부위의 형상과 손상치 분포를 Fig. 17에 나타내었다. 재료에 가해지는 하중은 급격히 증가하다가 한계값(약130톤)에 이르고 나면 단계적으로 서서히 감소한다.

2.5 금형 가공 및 시험 성형

2.5.1 금형의 가공

캐리어 플레이트의 파인 블랭킹 금형 요소 중 주 펀치는 분말 합금 고속도강인 CPM REX M4를 사용하였고 다이 및 피어싱 펀치는 HSS 인 SKH51를 사용하였으며 대개의 중요한 부품은 합금 공구강인 SKD11을 사용하여 강도를 증대시켰다.

주 펀치의 열처리는 먼저 820~845℃에서 1차 예열하고, 2차 예열은 진공로에서 1010~1040℃로 가열하였다. 다음에 1025~1205℃로 가열한 후 salt bath에서 540~595℃로 향한 퀴칭(quenching)한 후 즉시 공랭(50℃)하였다. 템퍼링(tempering)은 540~620℃ 정도로 2시간씩 3회 정도 실시하였다.

열처리한 후 wire cut 가공을 수행하여 금형의 정밀도를 높였다. 마지막으로 와이어 컷 가공 후 탄화 층을 제거하기 위하여 폴리싱(polishing)하였다.

2.5.2 시험 성형 및 결과 측정

금형을 제작 조립한 후 파인 블랭킹 프레스에 올려 시험한 캐리어 플레이트의 샘플 측정 결과를 Table 5에 제시하였으며, 샘플 사진을 Fig. 19에 나타내었다.

특히 외측과 내측의 전단면 분포치는 상기의 시뮬레이션으로부터 예측된 결과와 유사함을 확인할 수 있다.

3. 결론

파인 블랭킹 기술은 최대 두께 18mm의 두꺼운 판재를 한번의 공정으로 매끄럽게 전단하는 기술로서 일반적인 프레스 작업에서의 파단면 제거를 비롯한 후가공 공정을 생략할 수 있는 금형 기술

Table 5 Measurement sample of carrier plate

	Outer sheared surface (%)	Inner sheared surface (%)	Surface roughness (μm)
Target	Over 95	Over 75	1.60
Sample 1	97	80	0.90
Sample 2	98	90	0.95

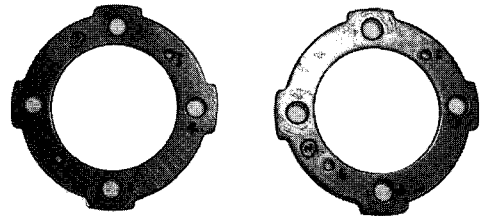


Fig.19 Sample of carrier plate after fine blanking

이다. 이에 본 연구에서는 자동차 자동변속기에 사용되는 캐리어 플레이트의 요구 위치 공차를 만족하면서 생산 비용 절감이 가능한 프로그레시브 파인 블랭킹 금형을 유한요소 해석과 병행하여 설계하였고 실제 부품 성형 공정에 성공적으로 적용하여 설계의 타당성을 검증하였다.

실제 파인 블랭킹 공정 및 금형의 설계는 개별 부품의 재료 및 형상 특성에 따라 결정되어야 한다. 따라서 다른 종류의 부품 성형을 위한 파인 블랭킹 금형 설계를 위해서는 본 연구에서 행하여진 절차에 따른 접근이 이루어져야 할 것이다. 향후 파인 블랭킹 금형 기술에서는 다음과 같은 요소 기술에 대한 연구, 개발이 필요하다.

(1) 전단 거동은 매우 국부적인 재료 유동을 수반하는데 기존의 연속체 기반의 해석적 접근에서는 한계가 있고 재료의 미세 조직을 고려한 해석 및 실험 연구가 필요하다.

(2) 파인 블랭킹에서의 금형 설계 변수는 높은 수준의 정밀도를 요구하므로 실제 공정에서 이를 구현하기 위해서는 서보 프레스의 적용을 비롯한 프레스 장비 기술 측면에서의 연구도 필요하다.

후 기

본 연구는 부품소재통합연구단의 지원에 의하여 수행된 결과이며, 이에 감사를 드립니다.

참 고 문 헌

- [1] American Society for Metals, 1998, Metal Forming Handbook, Springer, Vol. 4, pp. 330~338.
- [2] Franz Birzer, 1996, Feinschneiden und Umformen, Verl. Moderne industrie, pp. 4~6.
- [3] Introduction into the technology fineblanking tools, 1999, KITECH, pp. 7~128.
- [4] Altanu Mukhoty, Franz Birzer, Peter Höfel, Helmut Singer, Kurt Lange, 1997, Cold Forming and Fineblanking, Edelstahlwerke Buderus AF, Feintool AG Lyss, Hoesch Hohenlimburg Gmbh, Kaltwalzwerk Brockhaus Gmbh, Vol. 19, pp. 160~162.