단순 기어형상의 셰이빙가공에 있어서 작업 변수의 영향

이기성¹· 정준영²· 김종호#

Influence of Working Variables in Simplified Gear Shaving Process

K. S. Lee, J. Y. Jung, J. H. Kim

(Received April 13, 2010 / Revised July 14, 2010 / Accepted July 15, 2010)

Abstract

Shaving technology is one of the significant metal forming technologies which can make the smooth and fine sheared surface of products after shearing process. The sheared surface on the side wall of the cutting edge is very important because it functions as a basic surface for measuring the dimensions of product. Effective sheared surface after shaving can be influenced by several working variables such as shaving allowance, shaving clearance, type of material and profile of cutting edge. The influence of these variables on shaving characteristics was investigated in this study. A cut-off die to make the simplified gear-shaped products was manufactured. Three kinds of sheet metals (AL5052, SPCC and SAPH440) of 3mm thickness were firstly sheared and then shaved for four shaving allowances and three sharing clearances. It was shown through experiments that the optimum working condition to give the maximum effective sheared surface in shaving was found; Shaving allowance is 0.2mm and Shaving clearance is 0.01mm.

Key Words: Cut-off Die, Shaving, Effective Sheared Surface, Clearance, Shaving Allowance

1. 서 론

프레스 가공은 프레스 기계를 사용하여 금속판재를 소성 변형시키는 소성가공방법의 한 분야로자동차, 항공기, 가전제품 등의 생산에 많이 활용되고 있다. 프레스 가공을 하기위한 공구로 프레스 금형이 사용되는데 프레스 금형에는 전단금형, 굽힘금형, 드로잉금형, 단조금형 등 작업 공정에따라 금형의 설계 방법이 틀려진다. 특히 전단 가공을 위한 프레스 금형은 편치와 다이의 틈새(Clearance)간격에 따라 절단되는 전단면의 정밀도가 좌우된다. 또한 더욱 정밀한 치수의 단면을 얻기 위해서는 별도의 가공이 필요하다. 이를 위한정밀 전단가공 방법으로는 파인블랭킹(Fine blanking)

[1~5]과 셰이빙(Shaving)등의 전단 가공이 있다. 파인블 랭킹은 1회의 작업으로 깨끗한 절단면을 얻을 수 있는 장점이 있지만 금형 크기의 제한, 고가의 프 레스기계, 복잡한 금형설계 및 금형 제작비 상승 등으로 인해 자동차 부품 등에만 제한적으로 활용되고 있다.

중소기업 현장에서는 고가의 전용장비 대신에 범용의 기계식 프레스를 사용하여 정밀한 전단면을 얻을 수 있는 셰이빙 공정의 적용을 시도하는 경우가 있다. 전단가공을 하게되면 절단면상에는 눌럼면(Roll over)과 파단면(Fracture)이 발생하여 깨 끗하지 못하고 치수 정밀도가 나쁘게 된다. 이를 해결하기 위한 방법으로 제시된 것이 절삭가공의 원리를 추가적으로 이용한 셰이빙 가공방식이다.

E-mail: jhkim365@snut.ac.kr

^{1.} 서울산업대학교 산업대학원 정밀기계공학과

^{2.} 서울산업대학교 제품설계금형공학과

[#] 교신저자: 서울산업대학교 제품설계금형공학과

셰이빙 가공에 관한 연구로 Mekaru[6]는 치형형상의 공구에 의한 경질재료의 셰이빙에 대한 연구를 하였으며, Kondo[7]등은 대향 다이스에 대한 전단의 변형 능력에 대한 연구와 전단하중 및 만곡(Dish-shape)에 대하여 실험하였다. Hirota[8]등은 편치 날끝 부분에 단을 붙인 간이 정밀전단법을 고안하여 여러 종류의 재질과 후판에 적용할 수있는 방법을 연구하였다. Kim[9~10]등은 파인블랭킹 방법을 대체하면서 중소기업에서도 쉽게 정밀전단을 수행할 수 있는 셰이빙 방법을 프로그레시브 금형(Progressive die)에 적용하면서 사각제품의 셰이빙 정밀도 향상을 위한 가공여유와 틈새에 관한 연구를 하였다.

본 연구에서는 자동차 도어용 유리의 상하운동에 적용되는 섹터기어(Sector gear)를 단순화시킨기어의 일부분을 설계하고 컷오프(Cut-off) 금형을이용해 소재를 셰이빙 한 후에 절단면 상태를 조사한다. 본 실험을 위해 컷오프 방식의 전단금형을 제작하여 3가지 소재에 대해 기어 형상의 볼록면과 오목면에 대해 유효전단면(Effective sheared surface)의 특성을 조사한다.

2. 실험준비

2.1 실험재료

본 실험에서는 자동차 섹터기어용 소재인 두께 3mm의 자동차구조용 열간압연강판(SAPH440)이외에 재질의 강도와 연성에 의한 셰이빙효과도 함께 조사하기위해 상용소재로 많이 사용되고 있는 알루미늄(AL5052)과 냉간압연강판(SPCC)소재에 대한 실험도 병행하였으며 이들 3종류 소재의 기계적 성질을 시험한 결과가 Table 1 에 주어져있다.

Table 1 Mechanical properties of specimens

Material	Tensile strength (kgf/mm ²)	Elongation (%)	Hardness (HRB)
AL5052	20.0	24.0	22
SPCC	32.7	39.2	66
SAPH440	45.3	30.5	92

2.2 제품 및 공정 설계

실험대상은 기어 형상을 단순화한 것으로 Fig. 1에 나타내었다. 기어형상의 볼록면(Convex part)과 오목면(Concave part)을 설치하여 전단윤곽형상변화

에 따른 전단면의 특성을 조사할 수 있도록 하였 다.

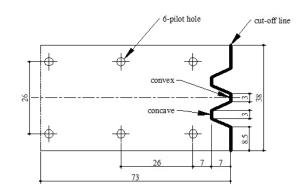
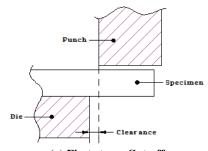


Fig. 1 Shape of specimen



(a) First stage: Cut-off

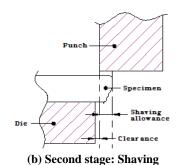


Fig. 2 Process for experiments

제품을 셰이빙하기위한 공정은 Fig. 2에서와 같이 1차로 전단가공(cut-off)을 한 뒤, 2차 셰이빙작업을 한다. 셰이빙에서의 가공여유는 아주적기 때문에 1차 전단된 시편을 위치 결정시키는 것이 어려워 본 연구에서는 Fig. 1에서와 같이시편상에 파일럿핀(pilot pin)용 구멍 6개를 사용하였다.

셰이빙시의 틈새와 가공여유량은 간극조정용 라이너(liner)를 금형 부품사이에 삽입하여 조정하 였다.

컷오프 작업과 셰이빙 가공을 위한 실험용 금형을 설계, 제작하였으며 이의 조립도면이 Fig. 3에 주어져있다. 소재의 위치결정과 고정을 위해 파일럿핀과 패드가 설치되고, 패드의 상하운동을 안내하기 위해 가이드핀을 설치하였다.

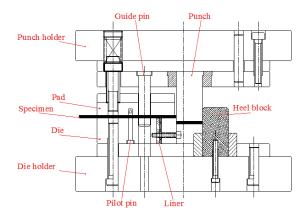


Fig. 3 Cross-sectional view of cut-off die

2.3 실험 방법

컷오프와 셰이빙에 대한 실험조건은 Table 2 에 나타내었다.

- 1 차 컷오프 공정은 제품형상을 단순 전단하는 것으로 틈새를 기존연구[9]에서 제시된 소재 두께 의 5%로 고정시켜 1 차 제품을 전단하였다. 일반 적으로 소재별로 틈새를 다르게 할 수 있지만 본 실험에서는 1 차 단순전단보다는 셰이빙공정의 특 성연구에 집중하기위해 1 차공정의 틈새를 재질에 관계없이 동일하게 적용하였다.
- 2 차 셰이빙은 셰이빙 가공여유 4 가지와 틈새 3 가지의 조건을 모두 실험할 수 있도록 간극 조정 용 라이너를 조건별로 교환하며 3 가지 소재에 대해 각각 실험하였다.

제품의 측정은 각각의 조건에 대해 5개씩 채취하여 유효전단면 비율을 측정하고 전단면은 금속현미경을 사용하여 관찰하였다. 제품 5개에 대한평균값을 유효전단면의 대표값으로 하였다. 유효전단면 측정은 기어의 경사면을 제외한 제품의볼록면과 오목면의 중심부를 측정하였다.

Table 2 Experimental conditions for shaving

(unit: mm)

		(diffici fiffiff)
Shaving allowance ($\triangle a$)	Clearance in Shaving (C)	Remark
0.10	0.01	
0.15	0.02	Clearance in
0.20		cut-off : 0.15
0.40	0.03	

3. 실험결과 및 고찰

1 차 컷오프 가공조건은 만능 재료시험기의 전 단 속도 1.2m/min, 틈새 5%(0.15mm)로 고정하여 전단하였다. 3 가지 소재를 컷오프 작업 후 와이어 방전가공기를 사용하여 볼록면의 중심부를 절단하 였다. 절단된 시편은 금속 현미경으로 파단면의 깊 이를 측정하였으며 그 결과를 Fig. 4 에 나타내었다.

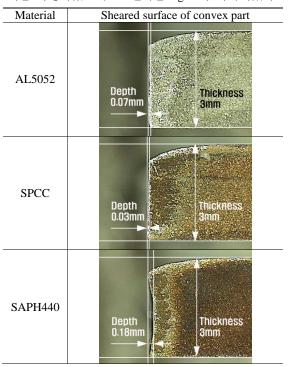


Fig. 4 Measurement of fracture depth of convex part after cut-off operation

그림에서 보는 바와 같이 AL5052 와 SPCC 는 파단깊이가 각각 0.07mm 와 0.03mm 로 측정되어 본 논문에서 실험조건으로 선택한 최소 셰이빙 가공여유 0.1mm 보다 작은 것으로 나타났으나, SAPH440 의 파단깊이는 틈새 5%(0.15mm)보다 깊은 0.18mm 로 측정되었다. 즉, 이와같은 수치는 셰이빙 가공여유 조건 중 0.1mm 와 0.15mm 의 경우에는 셰이빙 가공 후에도 절단면에 파단면이 잔존하며 이는 1 차 컷오프 공정에서 발생된 것임을 알 수 있다. 이와 같이 파단 깊이가 큰 것은 AL5052 와 SPCC 보다 강도와 경도가 크고 연성이 낮은 소재이기 때문이다.

2 차 셰이빙 가공은 전단 속도 0.4m/min 로 고정 하였으며, 틈새와 셰이빙 가공여유 변화에 따라 AL5052 소재를 셰이빙한 볼록면과 오목면의 유효 전단면 비율을 각각 Fig. 5 와 Fig. 6 에 나타내었다. 1차 컷오프 공정에서의 틈새가 0.15mm임을 고려할 때 이 수치보다 셰이빙 가공여유가 작을 경우엔 유효전단면 비율이 83%이하로 낮고, 또한 셰이빙 가공여유가 0.4mm로 증가함에 따라 유효전단면 비율이 감소함을 알 수 있다. 즉 AL5052 소재의 경우에는 제품 형상이 볼록면, 오목면에 관계없이 셰이빙 가공여유가 0.2mm(1차 틈새의 1.3배)일 때 최대 유효전단면 비율을 나타내고 있다.이와같은 현상은 틈새가 본 실험조건에서 가장 작은 0.01mm에서 똑같은 경향을 보이고 틈새가 증가할수록 유효전단면 비율이 낮아지고 있다.

일반적으로 파인블랭킹된 전단면과 동등하게 실용화 되기 위해선 유효전단면 비율이 90% [1]이 상이 되어야 하는데 이러한 조건을 만족시키는 AL5052 소재의 작업조건은 위 그림으로부터 셰이 빙 가공여유 0.2mm, 틈새 0.01mm인 것으로 나타 났다. SPCC 소재의 볼록면과 오목면에 대한 실험 결과가 Fig. 7과 Fig. 8에 각각 주어져있다. AL5052 소재보다 틈새에 의한 영향이 크지 않고, 셰이빙 가공여유에 의한 영향도 적게 나타나고 있다.

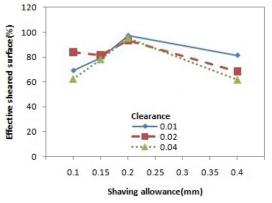


Fig. 5 Comparison of effective sheared surface of the convex part in shaving of AL5052 specimen

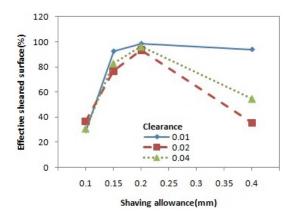


Fig. 6 Comparison of effective sheared surface of the concave part in shaving of AL5052 specimen

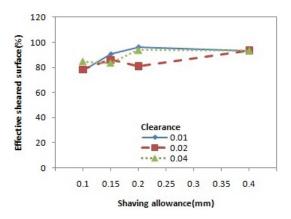


Fig. 7 Comparison of effective sheared surface of the convex part in shaving of SPCC specimen

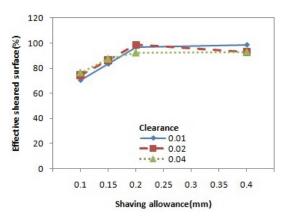


Fig. 8 Comparison of effective sheared surface of the concave part in shaving of SPCC specimen

특히 SPCC와 같은 연성이 좋은 소재의 경우엔 셰이빙 가공여유가 0.2mm 이상이 되면 거의 비슷 한 유효전단면 비율을 보이고 있다. 여기에서도 최대 유효전단면을 나타내는 조건은 AL5052와 동 일한 실험조건으로 나타났다.

자동차 구조용 강판으로 사용되는 SAPH440 소재에 대한 실험결과가 Fig. 9와 Fig. 10에 제품의 볼록면과 오목면에 대해 각각 주어져 있다. 이 소재는 강도가 높고 연성이 낮은 재료로 다른 2가지소재에 비해 실험결과의 산포가 크게 나타났다. 틈새 0.02mm 이상일 경우엔 볼록면, 오목면에 관계없이 유효전단면 비율이 74% 이하로 되어 정밀전단면으로 활용할 수 없고, 셰이빙 가공여유도 0.2mm에서 최대치를 보이고 나머지 실험조건에서는 모두 90% 이하의 유효전단면을 나타내고 있다. 즉, SAPH440 소재를 셰이빙하기 위한 최적조건도 AL5052, SPCC소재와 동일한 조건임을 알 수 있다.

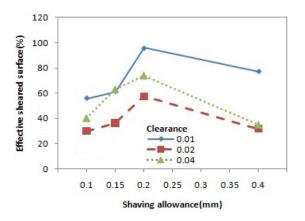


Fig. 9 Comparison of effective sheared surface of the convex part in shaving of SAPH440 specimen

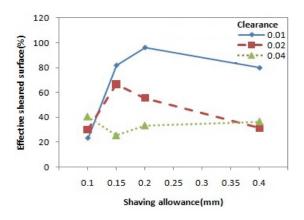


Fig.10 Comparison of effective sheared surface of the concave part in shaving of SAPH440 specimen

지금까지 3 가지 소재에 대해 틈새와 셰이빙 가 공여유를 변화시키면서 셰이빙 실험결과를 검토할때 3 가지 소재에 공통으로 적용할 수 있는 정밀전단면을 얻을 수 있는 작업조건은 1 차 컷오프 가공에서의 틈새가 0.15mm 로 고정시킨 상태에서 셰이빙 가공여유는 0.2mm, 틈새는 0.01mm 인 것으로나타났으며, 이를 소재 두께(3mm)기준으로 표시하면 1 차 컷오프 작업의 틈새 5%일 때, 2 차 셰이빙작업에서의 가공여유 6.6%, 틈새 0.33%이다.

위와 같은 최적 작업조건에서 셰이빙된 제품의 절단면이 Fig. 11 에 주어져 있다. 사진에서와 같이 기어 폭 치수 3mm 인 볼록면과 오목면의 중심선에서는 모두 95% 이상의 유효전단면을 보여주고 있다. 그러나 볼록면의 경우 폭 모서리 부위에서는 두께방향으로 중간에 파단면이 발생된 것을 알 수 있다. 직선 윤곽의 전단에서는 깨끗한절단면이 생성되는 반면, 180°이하의 볼록 모서리부에서는 깨끗한절단면이 생성되는 반면, 180°이하의 볼록 모서리부에서는 깨끗한절단면이 생성되지 않기 때문에 기어형상과 같은 동력전달용 제품 실용화를위해서는 이에 대한 지속적인 보완 연구가 필요하다.

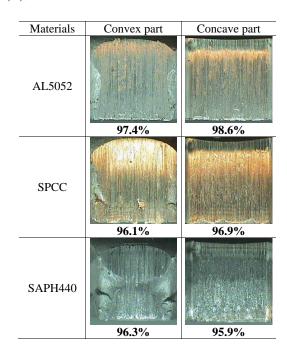


Fig.11 Photograph of sheared surface with the percentage of effective sheared surface at each optimum working conditions (△a=0.2mm, C=0.01mm)

4. 결 론

본 연구에서는 파인블랭킹을 대체할 수 있는 셰이빙 공정의 최적 조건을 연구하기 위해 컷오 프 금형을 설계, 제작하여 작업조건을 변화시키며 실험하였다. 1차 컷오프 작업 후 파단면의 측정과 2 차 셰이빙 작업 후의 유효전단면을 측정하여 분석한 실험결과를 정리하면 다음과 같다.

- (1) 컷오프 방식의 금형에 셰이빙 공정을 적용하여 AL5052, SPCC, SAPH440 소재에 적용한 결과로부터 90% 이상의 유효전단면을 얻을 수 있었다.
- (2) 셰이빙 가공여유는 1 차 컷오프 작업에서의 틈새보다 크게 설계해야 1 차 작업에서 발생한 파 단면을 2 차 셰이빙 가공에서 제거할 수 있다.
- (3) 3mm 두께의 세종류 소재에 적용할 수 있는 셰이빙의 최적 작업조건은 1 차 컷오프 틈새가 0.15mm 일 때 셰이빙 가공여유 0.2mm, 셰이빙 틈 새 0.01mm 인 것으로 나타났다.

본 연구는 셰이빙 공정에서 기어제품의 볼록면과 오목면에 대한 유효전단면 비율이 90% 이상 생성될 수 있는 최적 작업 조건에 대한 연구를 수행하였다. 폭치수가 작은 동력전달용 제품에 실제 적용하기 위해서는 볼록면의 모서리부 파단 방지를 위한 연구가 추후 더 필요할 것으로 나타났다.

참 고 문 헌

- [1] J. H. Kim, J. G. Ryu, C. S. Choi, W. J. Chung, 1996, Development of Fine Blanking Die with Fluid Chamber and its Application to Production of Circular Blanks in a Hydraulic Press, Journal of the Korean Society for Precision Engineering, Vol. 13, No. 5, pp. 157~163.
- [2] S. K. Oh, D. I. Jo, B. D. Kang, J. H. Kim, 2008,

- Study on the shear Factors in fine Blanking Process, Journal of The Korea Society of Die & Mold Engineering, Vol. 2 No. 2, pp. 38~42.
- [3] K. T. Han, 1999, A Study on the Forming of Parts for Automobile using Fine Blanking Process, Journal of the Korean Society of Machine Tool Engineers Vol. 8, No. 2, pp. 56~61.
- [4] J. K. Lee, W. Park, S. H. Kang, C. H. Kim, C. H. Kim, 2002, A Study on the Steps of Shear Deformations Behavior of Fine-Blanking Process, Journal of the Korean Society of Machine Tool Engineers Vol. 11, No. 4, pp. 26~33.
- [5] T. S. Kwak, Y. J. Kim, W. B. Bae, 2002, Finite element analysis on the effect of die clearance on shear planes in fine blanking, Journal of Materials Processing Technology, Vol. 130~131, pp. 462~468
- [6] S. Mekaru, 1982, Fine Cutting of Hard Material with Trapezoidal Single-side cutting Edged Tool, JSTP, Vol.23, No.254, 225-231.
- [7] K. Kondo, T. Lwama, K. Ohishi, 1982, Formability of the sheared Surface by Opposed Dies Shearing Process and Its Utilization, JSTP, Vol.23, No.262, pp. 1058~1065.
- [8] K. Hirota, K. Kondo, K. Maeda, 1996, Development of a Simple Precision Shearing Process for Thick Plates, JSTP, Vol.35, No.386, pp. 67~72.
- [9] W. J. Chung, K. B. Hwang, J. H. Kim, H. Y. Ryu, 2008, A Study on the Improvement of the Accuracy of a Shaving Process Using a Progressive Die, International Journal of Modern Physics B, Vol. 22, Part 1 of 2, No. 31~32, pp. 5673~5679.
- [10] S. K. Oh, D. I. Jo, B. D. Kang, J. H. Kim, 2008, Influence of shaving Allowance and Clearance in Pre-shearing process for Improving shaving Accuracy, Journal of The Korea Society of Die & Mold Engineering, Vol. 3 No. 3, pp. 40~44.