

딥 드로잉 벽면 만곡에 미치는 소재 및 가공조건에 영향

박 기철*, 한 수식*, 조 태현**, 황 상무***

*포항제철 기술연구소, **포항공대 철강대학원, ***포항공대 기계공학과

Effects of sheet and stamping process variables on side wall curl

K.C.Park*, S.S.Han*, T.H.Cho**, S.M.Hwang***

*POSCO, **GSIST POSTECH, ***Dept. of Mechanical Eng. POSTECH

Abstract

In order to investigate the effects of the variables during the stamping process upon the side wall curl behavior, experiments and finite element analyses were done using a 90 degree draw-bending test. The variables considered were the die radius, the forming speed, the restraint force, the lubrication and the sheet grade. The experiments and simulation conditions were selected according to the design of experiment (DOE) approach. The effects of the restraint force, the lubrication and the forming speed were the same for both high strength and mild steels, but the effects of the die radius on the side wall curl were dependent on the magnitude of the die radius and the sheet grade. A straight side wall was observed for both high strength and mild steels when the die radius was about 2~3 times of the sheet thickness. It was recommended that the restraint force, the forming speed and the friction be increased in order to reduce the side wall curl.

Keywords : Side wall curl, draw-bending, deep drawing

1. 서론

딥드로잉(deep drawing)제품의 벽면 만곡(curl)은 다이곡률부를 통과한 부분이 드로잉 길이방향으로 휘어 발생하는 현상이다. 만곡이 심한 경우에는 가공후 부품조립을 곤란하게 하므로 금형 설계 및 가공조건과 소재선정에서 고려하여야 하는 중요한 특성이다. 드로잉 벽면의 만곡은 강판이 다이곡률부를 통과하여 성형되는 경우 다이와 접하지 않는 상면 소재는 굽힘(bending)과정 중에 인장변형을 받으며 펴(unbending)과정에서는 압축변형을 받으나 다이와 접하는 하면은 상면과 반대의 거동을 겪게되므로 다이곡률부 통과 후에 상면은 압축응력 상태이며 하면은 인장응력 상태에 있게 되어 가공후의 탄성회복에 의하여 상면은 늘어나고 하면은 줄어드는 변형에 의한 것이다. 이러한 현상은 재료의 강도가 커질수록 탄성회복과 편치 제거 후에 잔류하는 굽힘 모멘트가 커져서 만곡 발생이 심해진다. 본 연구는 벽면 만곡에 대하여 Shi⁽¹⁾가 다이곡률반경이 작아지는 경우에 만곡발생이 작아진다는 실험보고의 원인을 분석하고자 하며, 만곡발생에 미치는 가공조건 및 소재 특성의 영향을 명확히 파악하여 고장력강판 사용

시의 벽면만곡 문제 해결을 위한 목적으로 수행하였다.

2. 실험 및 해석 방법

2.1 Draw Bending 실험

Fig.1 과 같은 90° 드로잉 시험기에서 시편폭 40mm 드로잉길이 250mm 조건으로 실험하였다. 실험인자 및 수준 값은 Table 1 과 같으며 Table 2 에 나타난 고장력강판 (HSS) 과 일반가공용강판 (MSS) 에 대하여 각각 실험하였다. 실험은 Table 3 에 나타난 것과 같이 L9 직교배열에 각 인자들의 수준 값을 배치한 조건에서 실시하였다. HSS 를 이용하여 9가지 조건에서 시편의 모양은 Fig.2와 같다. 가공하중 (Restraint force) 은 각 소재의 항복용력과 단면적을 곱하여 계산되는 항복하중 (Yield force = $YS \cdot w \cdot t$) 의 비 (20%, 40% 그리고 60%) 로 결정하였다. 계산후 강판의 형상은 지점거리가 25mm 인 지그를 사용하여 다이얼게이지로 측정하였으며 연신율은 표점거리 100mm 가 늘어난 길이를 측정하여 구하였다.

2.2 Draw bending 해석

곡률부를 완전한 굽힘과 펴변형으로 통과하는 경우를 가정하고 소재내부의 변형과 잔류형상을 예측하는 드로벤딩 해석기술⁽²⁾을 저자의 일인이 개발하였으며 이를 이용하여 실험에서 얻어진 결과와 비교하였다. 그리고 실제 가공공정을 해석하기 위하여 ABAQUS 의 평면변형을 요소로 4층으로 모델링하여 드로벤딩 실험을 시뮬레이션 하였다. 그리고 HSS 와 MSS 강판을 곡률 반경이 3mm, 5mm 그리고 7mm 인 경우를 포함하여 Table 1 과 Table 3 에 나타난 인자와 조건으로 시뮬레이션하여 곡률반경이 작은 경우의 최적 교정조건을 검토하였다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1 Draw Bending 실험결과 분석

Table 3 의 결과를 분석하여 결과를 Fig.3-6에 나타내었다. 전체적으로 HSS 의 경우가 MSS 에 비하여 4배정도 곡률이 큰 것을 알 수 있다. 가공하중과 윤활조건 그리고 가공속도의 영향은 두 가지 소재 모두 드로잉하중이 커지는 조건에서 만곡발생이 줄어드나 다이곡률의 경우에는 실험범위 ($R=7.5, 10, 12.5\text{mm}$) 에서 HSS 의 경우는 다이곡률반경이 커질수록 MSS 의 경우는 다이곡률 반경이 작아질수록 만곡 발생이 작아졌다.

3.2 드로벤딩 해석 및 ABAQUS 시뮬레이션 결과 검토

Table 3 의 9가지 실험조건에서 굽힘-펴 공정을 해석하여 Fig.7 에 실험 결과와 비교하였다. HSS 의 경우는 실험과 근사하게 맞으나 MSS 의 경우는 실험 결과와 전혀 다른 예측 결과를 나타내었다. 그리고 다이곡률 반경이 작은 경우에 검증을 위하여 90° 드로잉 시험 조건으로 유한요소 해석을 수행하였다. MSS 의 경우에 드로벤딩해

석 결과로 예측이 불가능한 이유는 현재로는 실험이 완전한 평면변형조건이 아니고 폭 방향의 만곡이 발생하는 등의 원인을 생각 할 수 있으나 명확하지는 않다.

유한요소해석 결과 드로잉의 펴(unbending)부분에서 직선으로 펴지는 것이 아니고 Fig.8 과 같이 드로잉 벽면의 응력 구배를 감소시키는 추가적인 변형이 일어나는 것을 알 수 있었다. 다이곡률 반경이 작은 경우에 만곡에 미치는 다이곡률반경, 가공하중 그리고 마찰의 영향을 Table 3 에서 정리하여 Fig.9 에 나타내었다.

4. 결론

- (1) 고장력강판은 다이 곡률반경이 두께의 2-3배 정도인 경우에는 만곡발생이 거의 없는 조건에서 성형이 가능하며 이는 다이곡률부 출측에서 펴변형의 부가변형 때문이다.
- (2) 만곡 감소를 위해서는 가공하중,성형속도,마찰계수를 증가시키는 것이 효과적이다.

5. 참고문헌

- [1] M.F.Shi, P.Bucklin,1995,"Effects of Design and Stamping Process variables on Sidewall Curl", IBEC'95 - Materials and Body Testing, pp.71-78.
- [2] 박기철,전영우,정기조, 1997,"박강판 제조공정에서의 소재 굽힘변형과 잔류만곡발생 해석", 한국소성가공학회지, 제6권, 제2호, pp.118-135.

Table 1 Experimental factors and their levels.

Level Factor	Experimental level values			Simulation level values		
	1	2	3	1	2	3
Die Radius	7.5mm	10.0mm	12.5mm	3.0mm	5.0mm	7mm
Restraint Force	20% of YF	40% of YF	60% of YF	20% of YF	40% of YF	60% of YF
Lub. or Friction c.	Acetone	Rust-prev. oil	tallow	0.130	0.145	0.160
Drawing Speed	10mm/s	20mm/s	30mm/s	-	-	-

Table 2 Mechanical properties of sheets used for test samples.

Material	t (mm)	YS(kgf/mm ²)	TS(kgf/mm ²)	El (%)	r _m	K	ε ₀	n
HSS	1.43	23.6	35.5	37.7	1.57	62.32	0.01638	0.2333
MSS	1.52	18.1	29.5	46.3	1.34	55.36	0.01607	0.2746

Table 3 Experimental and simulation table and results by using HSS and MSS sheet.

Exp. No.	Experiment								Simulation				
	Factor and levels				HSS		MSS		Factor and levels			HSS	MSS
	R.F.	DieR	Lub.	Draw.S.	Curl (1/m)	El (%)	Curl (1/m)	El (%)	DieR	R.F.	Friction	Curl(1/m)	Curl(1/m)
1	20%YF	7.5	Acetone	10mm/s	2.56	3.71	0.486	3.89	3.0	20%YF	0.130	0.25	0.25
2	20%YF	10.0	Rust.P.	20mm/s	2.24	2.48	0.538	2.58	3.0	40%YF	0.145	0.25	0.005
3	20%YF	12.5	Tallow	30mm/s	2.18	2.31	0.576	2.02	3.0	60%YF	0.160	-1.3	-0.8
4	40%YF	7.5	Rust.P.	30mm/s	2.11	5.76	0.102	5.97	5.0	20%YF	0.160	1.43	0.12
5	40%YF	10.0	Tallow	10mm/s	2.15	4.81	0.742	4.00	5.0	40%YF	0.130	0.76	0.97
6	40%YF	12.5	Acetone	20mm/s	1.91	3.80	0.512	3.67	5.0	60%YF	0.145	0.74	0.74
7	60%YF	7.5	Tallow	20mm/s	1.94	7.73	0.192	7.79	7.0	20%YF	0.145	1.41	1.26
8	60%YF	10.0	Acetone	30mm/s	1.28	6.95	0.282	6.01	7.0	40%YF	0.160	1.32	1.06
9	60%YF	12.5	Rust.P.	10mm/s	1.50	4.97	0.640	4.90	7.0	60%YF	0.130	0.98	0.99

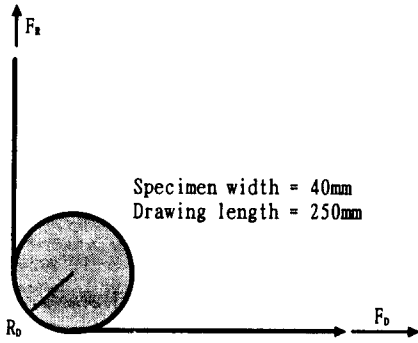


Fig.1 Schematic illustration of 90 degree bending test.

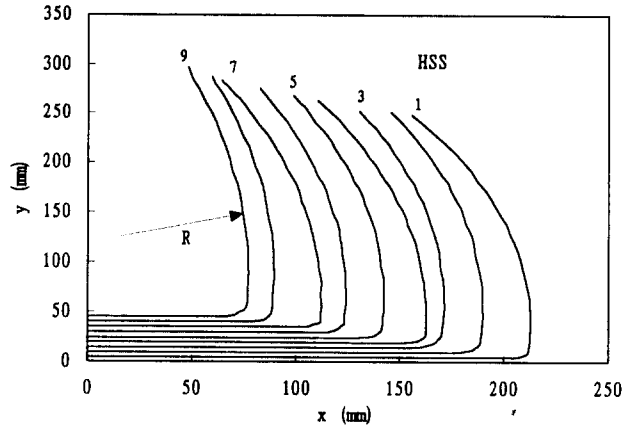


Fig.2 Side wall curl of HSS sheet at 9 conditions of L9.

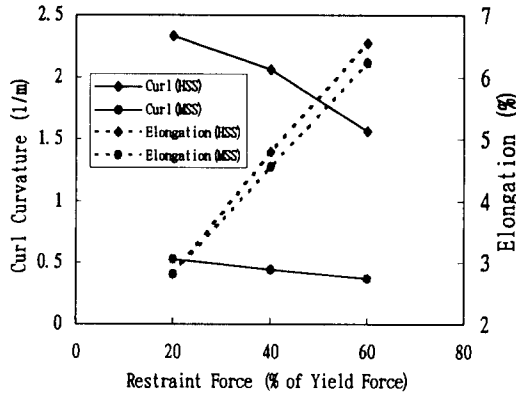


Fig.3 Effect of restraint force on sidewall curl.

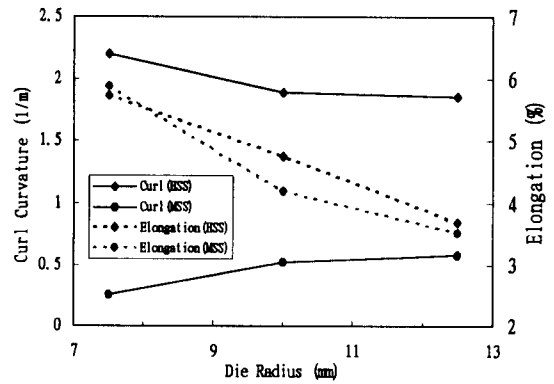


Fig.4 Effect of die radius on side wall curl.

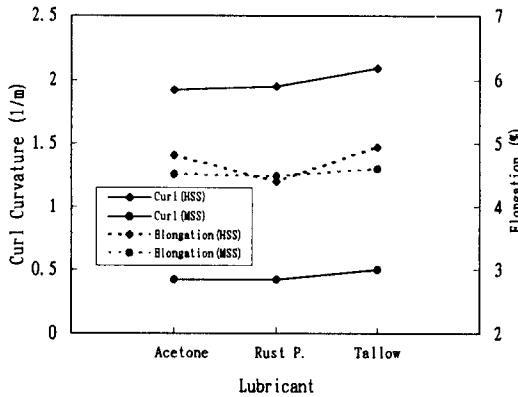


Fig.5 Effect of lubricant on side wall curl.

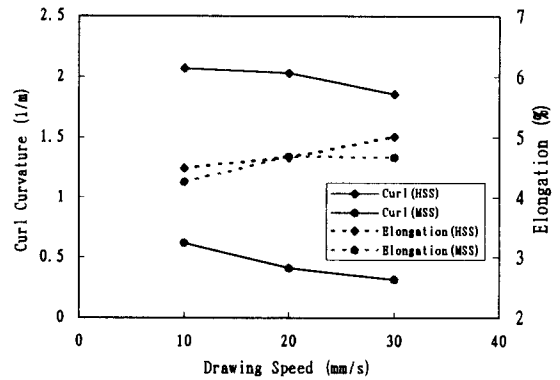


Fig.6 Effect of drawing speed on side wall curl.

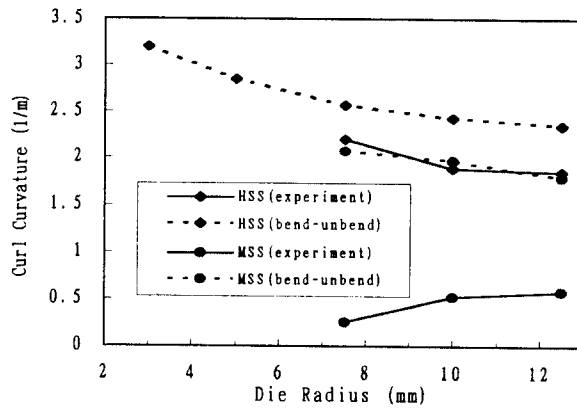


Fig.7 Experiment and bending analysis result of Curl.

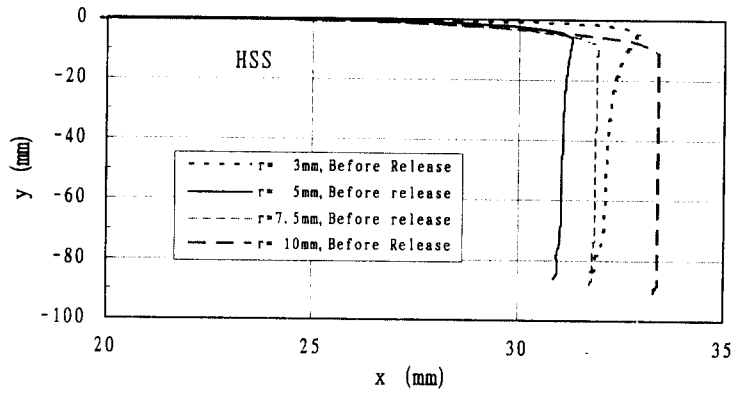


Fig.8 Sheet shape at draw-bending process. At unbending region of die radius, sheet is not straight at small die radius case.

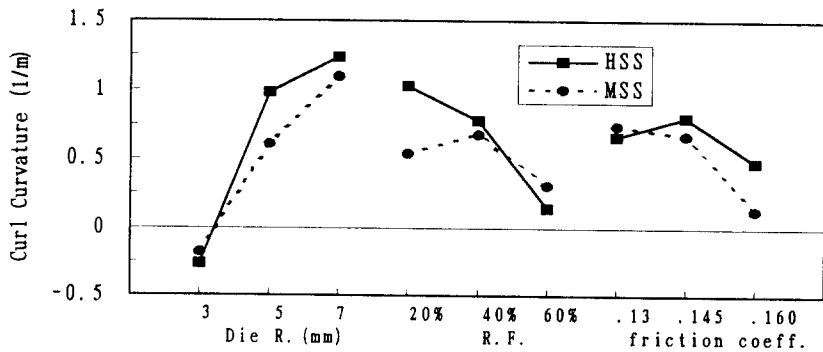


Fig.9 The effects of die radius, restraint force and friction coefficient on Curl.