한국소성가공학회 '99춘계학술대회 논문집 pp.9~13

사각 딥드로잉에서 플랜지 주름이 벽 파단에 미치는 영향

박 기철, 한 수식, 남 재복

Effect of flange wrinkling on wall break of rectangular cup drawing

K.C.Park, S.S.Han, J.B.Nam

Abstract

In order to investigate the effect of flange wrinkling on the wall break of a deep drawn rectangular cup, experiments and simulation were done. The effect of the wrinkling height on drawing force and wall break for a moving blank holder system with spacer were studied by setting a fixed clearance between the drawing die and the blank holder. Simulation and experimental results showed that wall break could be provoked by the flange wrinkling. As the wrinkling height increased, the punch force grew. The maximum punch force was obtained at its final stage of stroke.

Key Words : Deep Drawing(딥드로잉),Flange wrinkling(플랜지 주름),Wall Break(벽파단)

1. 서론

사각 드로잉은 박판가공의 기본적인 가공 방법으로 자동차, 가전, 주방기구 등의 성형에 많이 응용되고 있는 일반적인 가공법이다. 사용되는 블랭크의 모양은 정사각형, 정사각형에 모서리부를 절단(코너컷-corner cut)한, 그리고 곡선형상 블랭크로 대별된다. 코너컷이나 형상이 있는 블랭크로 만드는 이유는 가공성 향상 및 후 공정의 생략, 소재절감 등을 도모하기 위한 것이다. 그러나 현실적으로는 형상 블랭크의 여러 장점들에도 불구하고 제품 가공비 절감을 위하여 사각 블랭크를 사용하는 경우도 많이 있다.

사각블랭크를 사용하는 경우에 나타나는 대표적인 불량 현상은 펀치 곡률부에서 발생하는 파단과 벽 파단이다. 펀치곡률부 파단은 펀치곡률이 작은 경우에 펀치곡률부에서의 변형집중이 심하여 성형한계에 도달하여 발생하는 것으로 플랜지부 드로잉 저항의 감소와 펀치곡률부 소재의 변형집중 완화로 성형성 향상을 도모할 수 있다. 벽 파단 (wall break) 은 수축플랜지부의 드로잉벽에 발생하는 파단으로 역 V 자 형의 파단이 생기는 경우가 많다. 이는 플랜지 모서리부의 재료 드로잉 저항이 다이곡률반경이 작거나 플랜지의 구속이 부분적으로 심한 원인으로 소재의 벽부분 강도를 초과하여 발생하는 것이며 사각드로잉에서는 주로 모서리부 절단 시편을 드로잉하는 경우에 자주 나타나는 불량 현상이다. 사각드로잉에서 벽파단에 미치는 블랭크 코너컷의 영향은 많이 연구되어 있다. 직변부에 비드가 없고 코너컷이 심한 경우에는 코너컷 부분의 플랜지 유입이 지연되어 벽파단이 쉽게 발생하게 된다. 한편 직변부에 강한 비드가 있는 경우에는 직변부 플랜지의 유입에 따른 도움을 받을 수 없고 직변부와 코너부의 유입은 독자적으로 일어난다. 따라서 코너 컷으로 코너부 플랜지 면적을 줄여 유입저항을 줄이는 것이 좋다고 알려져 있다.[1)]

드로잉 금형은 블랭크홀더 (Blank holder) 의 구조에 따라서 다음의 3 종류로 대별된다.[2)]

(a) 블랭크홀더 없는 형 -- 블랭크홀더가 없는 드로잉 구조로, 소재두께와 블랭크직경의 비 (상대 소재두께비) 가 적정 범위에 있는 경우에 사용할 수 있다.

(b) 고정 블랭크홀더 형 -- 고정식 블랭크홀더를 갖추어, 블랭크홀딩을 하는 구조 중에서는

POSCO 기술연구소 박판연구그룹
(경북 포항시 남구 괴동동 1번지)

가장 간단하고 저렴하게 제작할 수 있다.

(c) 이동 블랭크홀더 형 -- 블랭크홀더를 움직일 수 있게 함으로써 블랭크홀더력의 조정이 가능하다. 압력의 발생원은 스프링, 우레탄판, 다이쿠숀등이 사용된다.

고정 블랭크를 사용하는 경우는 생산량이 많지 않은, 플랜지 없는 드로잉에 사용하는 방법으로 생산용 금형으로서의 제한은 많다. 그러나 스프링이나 우레탄과 같은 압축재료를 사용하는 이동 블랭크홀더 금형의 경우에는 드로잉 스트로크의 양에 비례하여 압축재료의 저항력이 증가함을 고려하여 그 길이가 선정되어야할 뿐만아니라 블랭크홀더력이 지나치게 커지는 경우를 방지하기 위하여 고정 블랭크홀더 형을 응용한 조정볼트(bolt) 와 같은 스페이서 (spacer) 를 사용한다.

본 연구에서는 압축재료를 사용하는 이동 블랭크홀더에 스페이서를 사용하는 금형에서 주름발생과 벽파단 특성을 분석하였다. 벽파단은 드로잉의 마지막 단계에서 발생하는 현상이므로 이 경우 블랭크홀더력은 충분하나 스페이서에 의하여 홀더와 다이 사이에 공간이 존재하며 여기서 주름이 발생하고 드로잉저항의 변동이 생기게 된다. 이러한 플랜지 주름의 발생 크기가 드로잉 저항 및 벽파단 (wall break) 에 미치는 영향을 검토하였다.

2. 실험방법

2.1 파단발생 부품 분석

Fig.1 과 같은 드로잉 제품에 벽파단이 발생한 부품의 파단원인 분석을 위한 목적으로 일련의 시험을 수행하였다. 파단부품에서 벽파단은 주름의 높이가 큰 3곳에서 발생하였으며, 주름의 높이가 가장 작은 곳에서는 파단발생이 없었다.

2.2 시험소재의 재질시험

Fig.1 에 나타낸 부품의 가공에 사용된 소재 (sheet-1) 와 실험실 사각드로잉 성형시험에 사용한 소재(sheet-2) 의 재질시험 실적을 Table 1 에 나타내었다. 인장시험은 시험편의 폭이 12.5mm 인 JIS13호 시험편을 사용하였으며 인장속도는 10mm/min 이다. 소성이방성계수는 15% 인장에서 구하였고 인장커브는 항복응력이후에서 인장강도까지의 변형률-응력데이타를 비선형회귀분석으로 구하였다.

2.3 시험소재의 마찰 및 성형한계시험

Fig.1에 나타낸 파단발생 부품 가공시 사용하는 가공유를 사용한 마찰시험을 sheet-1 로 실시하였다. 마찰시험은 Cr 도금된 공구강을 압자로 하여 소재와 압자간의 상대운동을 이용한 시험기로 수행하였으며 이때의 가공압력은 0.55 kgf/mm^2 이고 드로잉속도는 1000mm/min로 시험하였다. Table 2 에 정리한 것과 같이 Fig.1 부품 가공시 사용하는 가공유 조건에서의 마찰계수는 약 0.10 이었다. 참고로 냉연강판 출하조건에서의 마찰계수는 약 0.15 정도로 평가되었다.

소재의 성형한계도를 직경이 100mm 인 반구형 펀치로 폭을 변경하며 0.1" 직경의 원형그리드를 입힌 시편을 스트레칭하여 파단부 변형률로 구하여 Fig.2 에 나타내었다.

2.4 사각 드로잉 실험

형상 및 코너 곡률반경이 모두 8mm 이고 크기가 70mm × 70mm 인 펀치와, 곡률반경이 8mm 와 1.5mm 인 각각의 드로잉 다이로 sheet-2 (0.7t) 소재로 만든 150mm × 150mm 블랭크를 30mm 높이까지 유압복동식 실험용 프레스로 드로잉하였다. 블랭크홀더와 다이간의 간격은 스페이서를 이용하여 설정하였으며 충분히 큰 블랭크홀더력 (30ton BHF) 으로 가압하여 다이면과 블랭크홀더가 일정한 간격을 유지하도록 하였다. 그리고 일정 블랭크홀더력 조건과의 비교를 위하여 몇가지 경우에는 스페이스를 제거하고 블랭크홀더력을 가하여 실험하였다.

2.5 부품성형 시뮬레이션

Fig.1 과 같은 부품의 성형과정을 재현하고 파단원인을 분석하기 위하여 sheet-1 (0.5t) 소재를 사용하고, 실제 가공조건과 같이 금형 및 블랭크를 모델링하였다. 성형시뮬레이션 조건은 블랭크홀더와 다이가 일정한 간격을 유지하는 경우에 주름발생에 따른 성형특성 분석을 위하여 블랭크홀더와 다이간 간격을 0.7mm 와 1.3mm 로 설정하였다. 이는 간격이 0.7mm 인 경우에는 벽파단이 발생하지 않았으나 1.3mm 에서는 파단발생함에 따른 것에 착안한 것이다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1 사각드로잉 시험 결과

Table 3~6, Fig.3~9 에 두가지 다이곡률반경 조건에서 일정 블랭홀더간격과 일정 BHF 조건에서의 시험 결과를 나타내었다. 다이곡률반경이 벽파단에 미치는 영향이 매우 큰 것을 알 있다. 다이곡률 반경이 8.0mm 인 경우에는 어느 시험 조건에서나 파단없이 가공이 가능하였으나 다이 곡률반경이 1.5mm 로 작은 경우에는 주름의 크기가 커지거나 블랭크홀더력이 큰 경우에 파단이 발생하였다. 주름의 크기가 커질수록 최대 드로잉하중은 펀치 스트로크의 최종단계에서 발생하고 이에 따라서 벽파단 발생이 더욱 용이해짐을 알 수 있었다. 그러나 일정 BHF 조건 가공에서 드로잉하중은 스트로크의 중간부분 어느 시점에서 발생하며 이 경우 벽파단은 어느정도 완화될 수 있음을 알 수 있다.

3.2 사각 드로잉 시뮬레이션 결과

주름발생 정도에 따른 드로잉 하중의 차이를 보기 위하여 다이와 블랭크홀더의 간격을 일정하게 두고 시험한 결과를 Fig.10 에 나타내었다. 간격이 1.3mm 인 경우에는 드로잉하중이 펀치 스트로크의 최종단계에서 급격히 증가하는 것을 알 수 있다.

4. 결론

벽파단에 미치는 주름의 영향을 분석하기 위하여 파단발생 시편의 분석과 실험실적 비교실험 및 유한요소 성형해석을 수행하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) 실험 및 시뮬레이션 결과 플랜지부의 주름 발생 크기가 증가함에 따라서 드로잉저항이 증가하며, 펀치스트로크의 최종단계에서 가장 커짐을 알 수 있었다. 따라서 벽파단에는 다이곡률반경과 함께 플렌지부의 주름이 매우 중요한 영향 인자임을 알 수 있었다.

2) 실제 재료특성과 마찰특성을 반영하고 가공 공정을 시뮬레이션한 경우 벽파단 발생이 없는 0.7mm 높이의 주름이 발생한 경우는 80kN, 벽파단이 발생한 1.3mm 높이의 주름이 발생한 경우는 110kN 의 드로잉 하중을 나타내었으므로 플랜지부 주름이 부품 파단의 주 원인으로 판단된다.

참고문헌

1) フ°レス加工テ"-タフ"ック編集委員會, フ°レス加工テ"-タフ"ック,日刊工業新聞社(일본).

2) T.Adachi and H.Tokubo, 1998, " Press Die (Basic Edition)", Journal of JSTP, Vol.39, no.452, pp.915-920.

Table 1 Mechanical properties of specimens.

sheet	t(mm)	Dir.	YS	TS	El	n	r
sheet-1	0.49	RD	19.9	34.0	42.6	0.233	1.80
		45°	19.7	33.3	43.0	0.229	2.13
		90°	20.8	33.7	38.6	0.221	2.37
		mean	**20.0**	**33.6**	**41.8**	**0.228**	**2.10**
		curve	$60.66(0.007681+\varepsilon_p)^{0.247}$				
sheet-2	0.70	RD	21.9	36.5	38.7	0.224	1.58
		45°	23.4	36.8	38.2	0.218	1.64
		90°	22.8	36.2	38.0	0.217	2.13
		mean	**22.9**	**36.6**	**38.3**	**0.219**	**1.75**
		curve	$66.85(0.01317+\varepsilon_p)^{0.2549}$				

Table 2 Friction coefficient of sheet with drawing and anti-rust oil.

	anti-rust oil	drawing oil
friction coefficient	0.148	0.098

Table 3 Drawing load and wall break at different wrinkle height conditions. Die radius is 1.5mm and drawing oil was used.

height / result	1.0mm	1.4mm	1.7mm	BHF=2.3ton (no wrinkle)
drawing load (ton)	8.32	8.49	8.70	7.88ton
Wall break	No	Occurred	Occurred	No

Table 4 Drawing load and wall break at different BHF conditions without wrinkling. Die radius is 1.5mm and drawing oil was used.

BHF / result	2.3ton (no wrinkle)	5ton	10ton
drawing load (ton)	7.88ton	8.33	8.57
Wall break	No	Occurred at 24.7mm drawing	Occurred at 19.6mm drawing

Table 5 Drawing load and wall break at different wrinkle height conditions. Die radius is 8mm.

result / spacer thickness		1.0mm	1.4mm	1.7mm
drawing oil	drawing load (ton)	7.19	7.90	7.97
	Wall break	No	No	No
rust prev.	drawing load (ton)	7.21	-	-
	Wall break	No	-	-

Table 6 Drawing load and wall break at different BHF conditions. Die radius is 8mm.

result / BHF		2.3ton (no wrinkle)	5ton	10ton
drawing oil	drawing load (ton)	6.82ton	7.48	8.16
	Wall break	No	No	No
rust prev.	drawing load (ton)	6.83ton	7.47	-
	Wall break	No	No	-

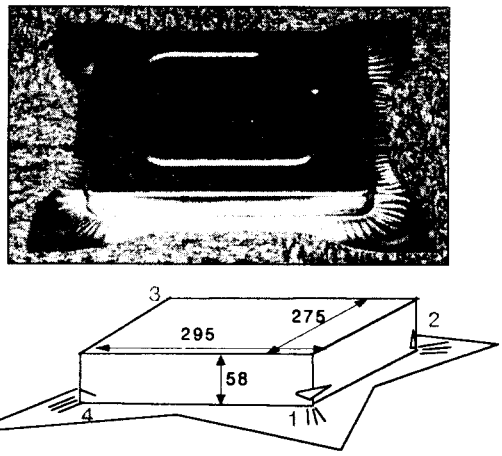


Fig.1 Geometry of analyzed part.
1 : wall break, wrinkle height=1.3mm.
3 : Safe , wrinkle height =0.7mm.

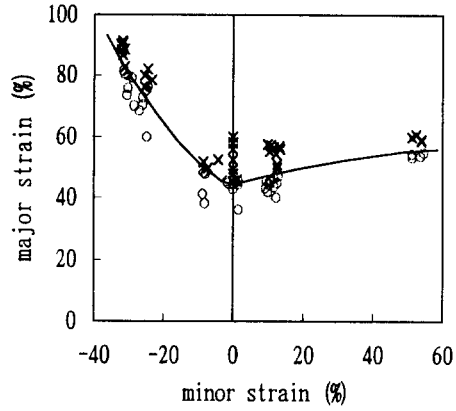


Fig.2 Forming limit diagram of sheet-1.

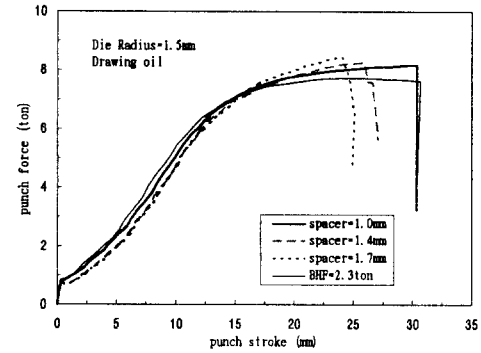
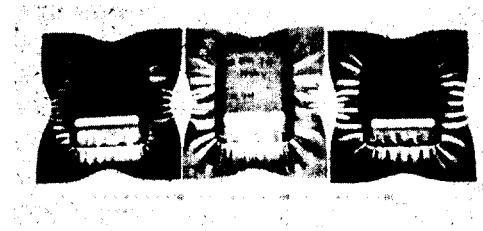


Fig.3 Punch stroke-force curve at several spacer thickness and a BHF conditions. (Die radius is 1.5mm.)



(a) (b) (c)

Fig.4 Specimen shape at different spacer conditions. Die radius is 1.5mm. Spacer thickness is (a) 1.0mm, (b) 1.4mm, and (c) 1.7mm.

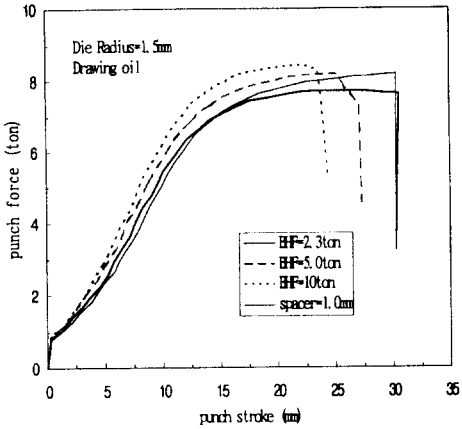
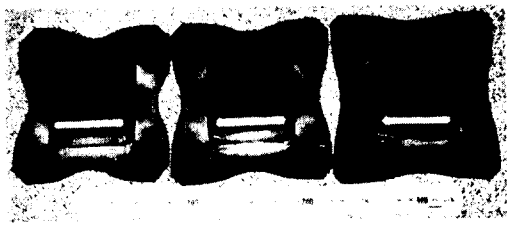


Fig.5 Punch stroke-force curve at several BHF and a spacer thickness conditions. (Die radius is 1.5mm.)



(a) (b) (c)

Fig.6 Specimen shape at different Blank holding force(BHF) conditions. Die radius is 1.5mm. BHF is (a) 2.3ton, (b) 5.0ton, and (c) 10ton.

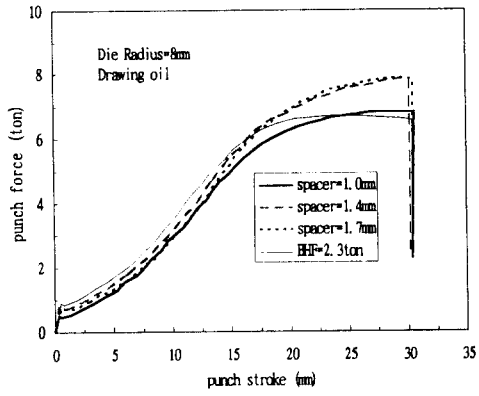
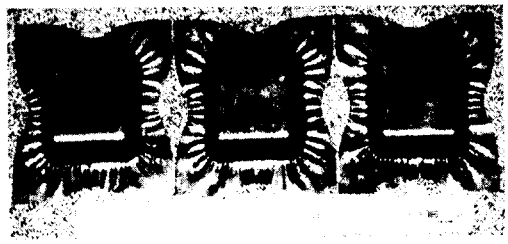


Fig.7 Punch stroke-force curve at several spacer thickness and a BHF conditions. (Die radius is 8mm.)



(a) (b) (c)

Fig.8 Specimen shape at different spacer conditions. Die radius=8mm. Spacer thickness is (a)1.0mm, (b)1.4mm, (c) 1.7mm.

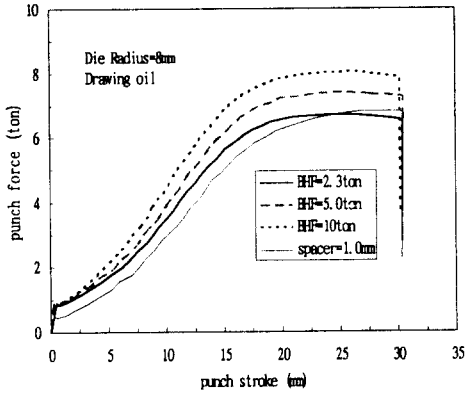


Fig.9 Punch stroke-force curve at several BHF and a spacer thickness conditions. (Die radius is 8mm.)

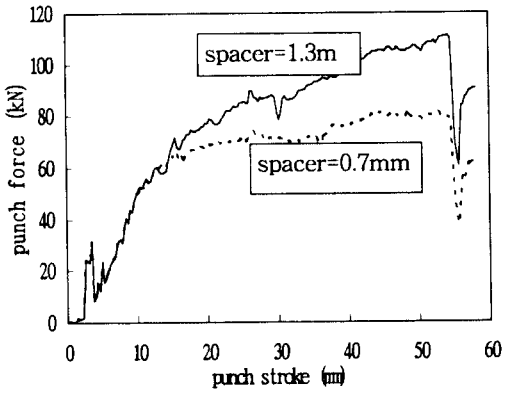


Fig.10 Drawing force at different spacer thickness conditions for Fig.1 part.